

Хилийн массивын хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай чулуулгийн петрографи, геохими ба геохронологи

Т.Оюунчимэг, Д.Шарав, Д.Эрдэнэчимэг, Ц.Наранцэцэг, Н.Ариунаа

ШУА-ийн Геологийн хүрээлэн

Abstract

This paper presents the field characteristics, petrographic, and whole-rock geochemical data of the ultramafic-mafic rocks of the Khiliin massive, located along the border of north-eastern Mongolia. A petrographic study reveals that ultramafic rocks are represented by dunite, harzburgite, and wehrlite, while the mafic rocks are identified as pyroxenite and gabbroids. Geochemically, the ultramafic rocks are characterized by high MgO (27.0-38.7 wt.%), Fe_2O_3 (9.35-17.4 wt.%), and low total alkali ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=0.08-0.24$ wt.%) contents, whereas the mafic rocks have low contents of MgO (5.2-20.1 wt.%), Fe_2O_3 (6.6-10.2 wt.%), high total alkali ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=0.42-3.95$ wt.%) contents. The peridotites of Khiliin massive show enrichment in Th, depletion in Sr, Nb, Zr, whereas the mafic rocks are enriched in Sr, Th, depleted in Nb, suggesting an origin was partial melting of the depleted mantle source. In the Nb/Yb–Th/Yb diagram of tectonic environment, the studied rocks are derived from subduction-related mid-ocean ridge basalts, which formed in supra-subduction zone environments. Zircon U–Pb dating on gabbro show a Late Carboniferous age (304.5 ± 3.2 Ma) for the Khiliin massive.

*Холбоо барих зохиогч: Т.Оюунчимэг

И-мэйл: oyunchimegt@mas.ac.mn

Түлхүүр үг: Хэт суурилаг, суурилаг, петрографи, геохими, субдукцтай холбоотой

1. Өмнөтгөл

Судлаачид хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай чулуулгийн хэт суурилаг магм нь маантийн плюмтай холбоотой (ZJ Bai et al., 2022; SZ Zhua et al., 2021), субдукцын дээрх нөхцөлд шавхагдсан маантийн эх үүсвэрийн өндөр зэргийн хэсэгчилсэн хайлалтын үед (Khatun et al., 2014; Леднева и др., 2020), офиолитын нумын арын сав газарт пикритын эсвэл далайн голч нурууны базальтын хайлшийн фракцлалын үр дүнд (Изох, 1990), мөн суурилаг магм нь гарал үүслийн болон нэг цаг үеийн анороген граниттай эх газрын нумын нөхцөлд (Manikyamba et al., 2020) үүсч болно гэж үздэг. Ийнхүү Хилийн массивын хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай чулуулгийн гарал үүслийн болон тектоник орчныг тайлбарлахыг

зорьлоо. Уг массив нь Монгол орны тектоник дүүрэгчлэлээр Хангай-Хэнтийн Атриат Мегабүсийн Ононы бүсийн зүүн хойд үзүүр (Зураг 1а), Монголын голч шугаман хагарлын дагуу, Онон голын зүүн цутгалуудын дээд эхэнд, Монгол, ОХУ-ын хилийн дагуу баруун урдаас зүүн хойш чиглэлд 25 километр орчим сунаж тогтдог (Зураг 1б). Уг талбайд анх Благонравов нар (1968Ф) 1:200000-ны масштабын геологийн зурагт габбро, жижиг, дунд мөхлөгт пироксенит, гнейс маягийн амфиболжсон габбро зэргийг кембрийн настай интрузив бүрдлээр зураглажээ. Дараа нь Агафонов нар (1987) габбро, пироксенит, верлит, дунит, серпентинит бүхий хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай чулуулгийг Хилийн массив нэртэйгээр ялган, геологийн бүдүүвч зургийг

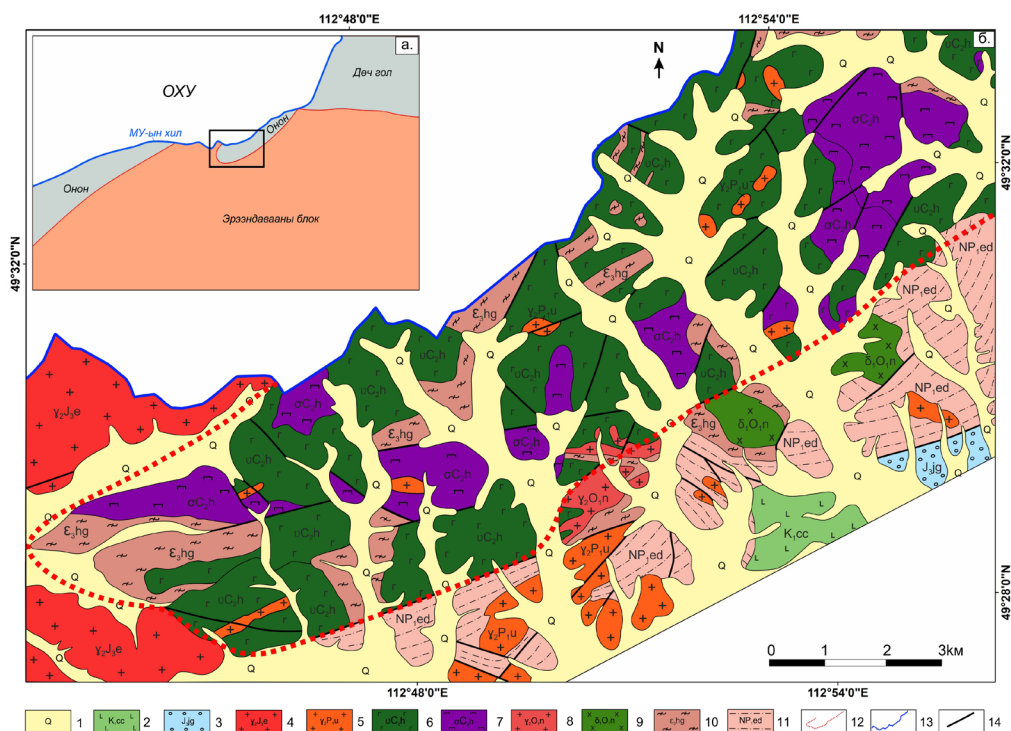
зохиосон байдаг. Далай нар (1996Ф) 1:50 000-ны масштабын геологийн зураглал, ерөнхий эрлийн ажлаар жижиг-дунд мөхлөгт хар ногоон габбро, габбродиорит, пироксенит, перидотит, дунитын литологи бүхий түрүү кембрийн настай интрузив бүрдэлд, Дорнод Монголын серийн легендэд түрүү силурын настай Хилийн бүрдэл (Махбадар нар, 2003Ф), Халиуны гипербазит-габбродийн массив (Махбадар, 2005), хожим Монгол орны 1:500000-ны масштабын геологийн зураг (Эрдэнэчимэг нар, 2017Ф) түрүү ордовикийн настай ангилаагүй бүрдэлд, харин УГЗ-200 иж бүрдэл зургийн нэгтгэл ажлаар (Мөнгөншагай нар, 2024Ф) түрүү силурын настай Хилийн бүрдэлд тус тус ялгасан байдаг. Хилийн массивын хэмжээнд анх удаа петрографи, геохимийн болон геохронологийн шинэ үр дүнгүүд бий болсныг энэхүү өгүүлэлд тусгаж байна.

2. Геологийн тогтоц.

М-50-XX, XXI хавтгайг дамжих Шаварт гозгорын горстыг зааглагч Хөх нуурын гүний хагарал болон түүний салбар хагарлуудын дагуу Хилийн массив нэртэй хэд хэдэн бүлэг биет бүхий хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай чулуулаг болох дунит, верлит, пироксенит, габброидоос тогтох бөгөөд хэт суурилаг найрлагатай чулуулгийн дийлэнх хэсэг нь Монгол орны нутагт тархалттай байдаг онцлогтой. Уг массивын хэт суурилаг найрлагатай чулуулаг нь голчлон төв хэсгээр, габброид нь зах хэсгээр илрэх хагас бүслүүрлэг тогтоцтой. Анх Благонравов нар (МНР, 1973) агуулагч метаморф зузаалгийн доод хэсгийг Хайчингол, дээд хэсгийг Эрэндаваа формацын хлорит-серицит, гялтгануурт, амфиболт занар, бага хэмжээгээр амфиболит, гнейс, гантиг бүрдүүлэх бөгөөд массивтай тектоник хил заагийг үүсгэн, ногоон занарын болон эпидот-амфиболитын түвшний метаморфизмд автсан

байдаг гэжээ. Дараа нь Далай нар (1996Ф) Хайчингол формацын хурдас нь баруун урдаас зүүн хойш чиглэлд өргөрөгийн дагуу шугаман атираажилд орсон цухуйц маягаар, тектоникийн блоклог тогтоцтой илрэх бөгөөд түрүү кембрийн ангилагдаагүй бүрдэлтэй эвшилдэн илэрдэг болохыг зурагласан байдаг (Зураг 1). Уг формацын хурдас нь плагиогнейс, амфиболит, бал чулуу, гантигийн үетэй биотит, эвэрхуурмагт, хоёр гялтгануурт, хлорит-серицитэт занараас тогтох бөгөөд үеллэг габброидын биетээр зүсэгддэг (Далай нар, 1996Ф). Гэвч судалгааны талбай бүхэлдээ Хилийн бүрдлээр зураглагдах боловч Хайчингол формацын төрөл бүрийн занар, амфиболит, гранит-гнейсээс тогтдог (Зураг 1а). Ерөнхийдөө Хайчингол формац нь Монгол улсын 1:500 000-ны геологийн зурагт (Эрдэнэчимэг нар, 8480Ф) болон Мөнгөншагай нар (2024Ф) “УГЗ-200 Дорнод Монгол-VII” төслийн үр дүнгээр мезопротерозойн настай бараан саарал, ногоон саарал, хар саарал өнгийн янз бүрийн найрлагатай занарууд, хар хүрэн, хүрвэтэр өнгийн төмөрт кварцит, хар ногоон өнгийн амфиболит, амфиболиттой салаавчилсан цайвар шаргал плагиогнейс, жижиг мөхлөгт гранитогнейс, гантигжсан шохойн чулууны үе, метагаббро, диабазын силлүүдээс тогтдог байна.

Хилийн массивын дийлэнхийг габброид эзлэх ба багаар верлит, клинопироксенит, гарцбургит, дунит тааралдана (Зураг 2а-в). Дунит нь төв хэсгээр тааралдах бөгөөд серпентинжсэн байх ба гарш дунд хромитын шигтгээ тааралддаг. Гарцбургит нь бор шаргал өнгөтэй, хүчтэй серпентинжсэн орой хэсгээр илрэх бол верлит нь хувиралд харьцангуй бага өртсөн, пироксенит нь үлдэц байдлаар ажиглагдана. Габброид нь төвөөс зах руу туузаг, үеллэг текстуртай болох ба эрдсийн найрлагаар плагиоклаз зонхилсон лейкократаас клинопироксен бүхий меланократ найрлагатай болдог (Зураг 2г).

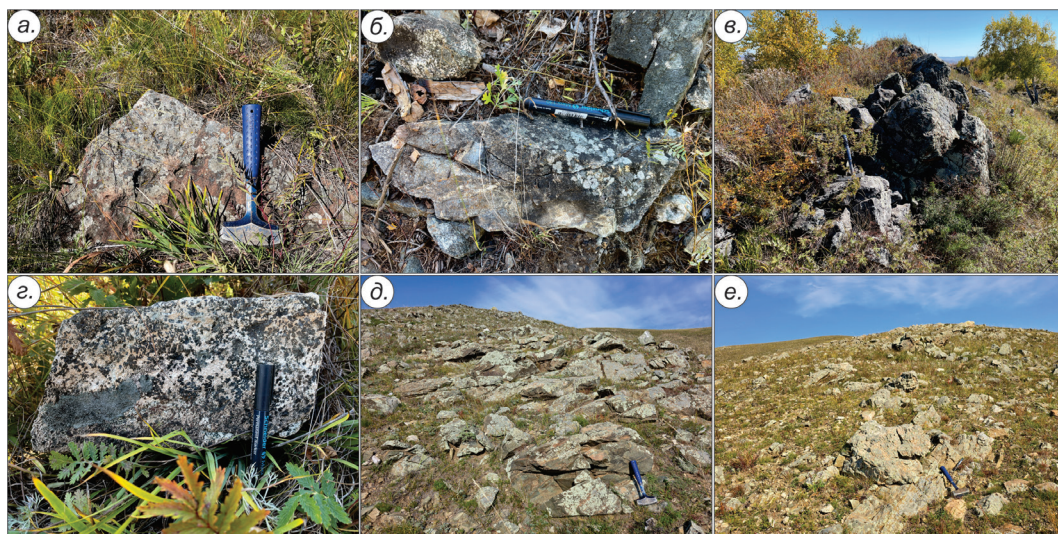


Зураг 1. а. Монгол орны тектоник дүүрэгчлэлийн зураг (О.Төмөртогоо, 2017), б. Хилийн массивын талбайн геологийн зураг (Благонравов нар, 1968Ф; Агафонов и др, 1987; Далай нар, 1996Ф; Мөнгөншагай нар, 2024Ф; Эрдэнэчимэг нар, 2017Ф) нарын суурь зургийг ашиглан, шинэчлэв)

Таних тэмдэг: 1. Дөрөвдөгчийн хурдас 2. Доод цэрдийн Цагаанцав формацын базальт; 3. дээд юрын Яхийнговь формацын элсэн чулуу, алевролитын нарийн цетэй сайн мөлгөрсөн, 4. Хожуу юрын Эрэндаваа бүрдлийн II фазын лейкогранит, гнейслэг гранит, биотитот гранит; 5. Түрцү пермийн Улзгол бүрдлийн II фазын шүтлэгдцү лейкогранит, граносиенит, гранит-порфир; 6. Түрцү ордовикийн настай Нарсанбулаг бүрдлийн эхний фазын диорит, кварцат диорит; 7. II фазын гнейсжсэн плагиогранит, гнейслэг биотитот гранит, 8. Хожуу карбоны настай Хилийн бүрдлийн хэт суурилаг чулуулаг (дунит, верлит, гарибургит); 9. Хилийн бүрдлийн суурилаг чулуулаг (пироксенит, габброид). 10. Доод неопротерозойн Эрэндаваа формацын хлорит-серицитэт, эпидот-амфиболт занар, графиттай занар, графитжсан шохойн чулуу, гантиг, кварцит; 11. Дээд кембрийн Хайчингол формацын бүрийн найрлагатай занарууд, төмөрт кварцит, амфиболит, плагиогнейс (хурдас хуримтлалын нас 504 сая жил, (Narantsetseg et al. 2024)); 12. Ононы бүсийн хил зааг; 13. Монгол улсын хил, 14. Хагарал

Лейкогаббро нь голдуу линз, үе хэлбэрээр тааралдана. Хээрийн нөхцөлд судалгааны талбайд мезопротерозойн Хайчингол формацын амфиболит, гнейс нь Хилийн массивын хойд хэсэгт микроатирааг үүсгэн, кварцын хөндлөн судлуудаар хэрчигдэн, синклиналь атираа үүсгэсэн

бол баруун хойд хэсэгт голдуу серицит, хлоритот занарын зузаалаг давамгайлж, байрлалын элемент (150°L 30-40) зүүн урагш уналтайгаар өргөн тархалттай байгаа ажиглагдана (Зураг 2д-е).



Зураг 2. Хилийн массивын гаршийн зураг. а.Дунит, б.Верлит, в.Пироксенит, г. Габбро /үнэмлэхүй насанд дээжилсэн/, д-е.Хайчингол формацийн амфиболит, гнейсийн зузаалаг

3. Судалгааны арга, аргачлал

Судалгааны талбайд хээрийн судалгааны ажлаар авагдсан 50 орчим дээжинд петрографи, 25 дээжинд геохимийн шинжилгээг хийж гүйцэтгэв. Судалгаанд хамрагдсан дээжүүдийн петрографийн судалгааг ШУА-ийн Геологийн хүрээлэнгийн Петрографийн лабораторид, петрохими, геохимийн шинжилгээг Монгол дахь Швейцарын хөрөнгө оруулалттай “Эс Жи Эс” лабораторид чулуулаг бүрдүүлэгч үндсэн элементүүдийн ислийг литийн бораттай хайлуулалтаар гарсан хайлшин дискт XRF буюу рентгенфлуоресценцийн анализийн аргаар, ховор элементүүдийг 4 хүчлийн уусгалт хийж, 54 элементийн агуулгыг ICP-MS буюу масс спектрометрийн багажаар тус тус хийлгэн, үр дүнгүүдийг стандарт арга, аргачлалын дагуу боловсруулав. Тэрчлэн үнэмлэхүй насны шинжилгээг Хятадын Геологийн ШУА-ийн Геологийн хүрээлэнгийн Эх газрын тектоник ба динамикийн лабораторид LA-ICP-MS багажит төхөөрөмжийг ашиглан хийлгэсэн болно.

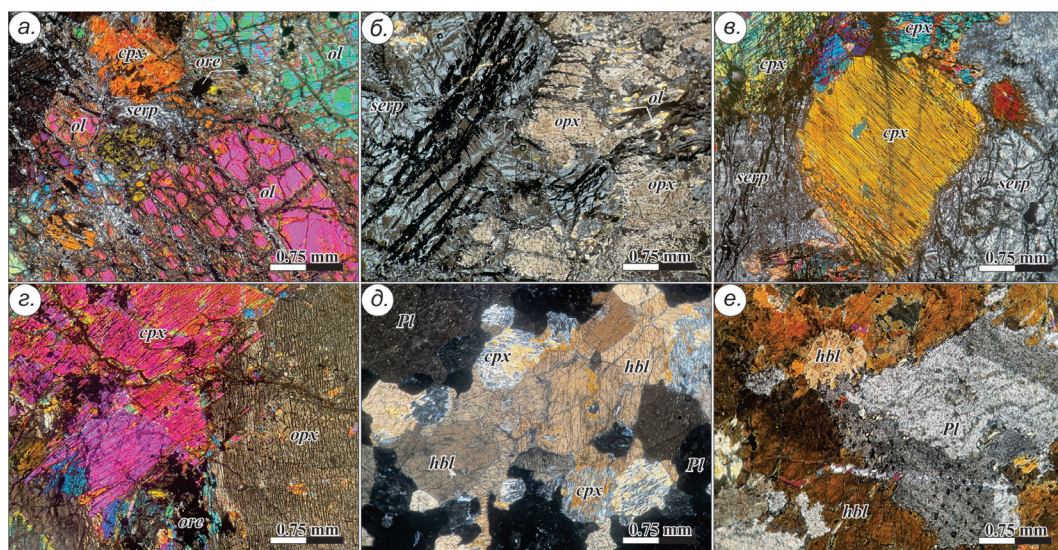
4. Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Петрографийн судалгаа: Дунит (Kh-24-01) нь оливин 90-95%, клинопироксеноос 0-5% тогтох ба ихэнх тохиолдолд оливин нь

хадгалагдан үлдсэн хэдий ч хоёрдогч хувиралд серпентинжсэн, серпентин нь антигорит байх бөгөөд хромшпинелид магнетитаар түрэгдэж, эвшил үүсгэн тааралдана (Зураг 3а). Апогарцбургит (Kh-24-09; 21) нь бластопорфир, гогцоот структуртай, цул текстуртай, оливин 70-75%, ортопироксен 20-25%, хоёрдогч эрдсээр серпентин, бастит, акцессор эрдсээс хүдрийн эрдэс 5% тохиолдоно. Оливин нь зөв, зургаан талт хэлбэртэй, серпентин /антигорит/-ээр хүчтэй бүрэн түрэгдсэн төдийгүй ан цаваар нь серпентиний судланцарууд харилцан огтлолцож торон бүтцийг үүсгэсэн хэдий ч торны төв хэсгээр оливины янз бүрийн хэлбэртэй болсон үлдэцүүд байрлажээ. Ортопироксен нь өнгөгүй, зөв бус хэлбэртэй, бастит псевдоморфоз үүсгэсэн ажиглагдана. Хүдрийн эрдэс нь тоосонцор байдалтай, жижиг мөхлөгтэй, судлаар болон толболог байдлаар тааралдах бөгөөд хоёрдогч хүдрийн эрдсүүдийн агрегатууд оливины үлдэгдэл агрегатыг хүрээлэн, хөвөөлж тогтжээ (Зураг 3б). Верлит (Kh-24-10; 13; 16; 20) нь 60-75% оливин, 5-20% клинопироксен, 5-10% эвэрхуурмаг, бага хэмжээний биотит агуулдаг маш их хувирсан, оливин нь бүрэн серпентинжсэн, клинопироксен нь өнгөгүй амфиболоор түрэгдсэн

хэдий ч үлдэгдэл байдлаар хадгалагдсан байх ба карбонатын судланцрууд, магнетит, гиперген хувирлын бүтээгдэхүүн болох төмрийн усан исэлд автсан ажиглагдана (Зураг 3в). Тэрчлэн эвэрхуурмагт перидотит нь гипидиоморф мөхлөгт структуртай, цул текстуртай, эвэрхуурмаг 50-55%, клинопироксен 10-15%, оливин 30-35%, хүдрийн эрдэс 5-10%, оливин нь хүчтэй серпентинжсэн байдаг. Эвэрхуурмагт болон оливинт пироксенит (Kh-24-12; 12/1; 15; 17; 19; 22; 26) нь гипидиоморф структуртай, цул текстуртай, эрдсүүд нь голдуу 1.0-3.5 мм, багаар 0.25-0.75 мм хэмжээтэй, клинопироксен 50-55%, ортопироксен 45-50%, оливин 15-30%, эвэрхуурмаг 5-15%, хоёрдогч эрдсээс серпентин, тремолит, карбонат, хлорит, акцессор эрдсээс магнетит тааралдана. Клинопироксен нь том хавтгай, зөв бус хэлбэртэй, термолитын жижиг мөхлөгтэй, зүүлэг агрегат болон карбонатаар хүчтэй түрэгдсэнээс гадна хүдрийн эрдсүүдтэй эвшил үүсгэжээ. Клинопироксены унтралын өнцөг нь $C:Ng=42-45^\circ$ бөгөөд диопсид-геденбергитийн бүлэгт хамаарна. Ортопироксен

нь зөв бус хэлбэртэй, шулуун унтралттай, түүний мөхлөгт диопсидын задралын үлдэгдлүүд саарал өнгөтэй ажиглагдаж байна (Зураг 3г). Габброид (Kh-24-07; 14; 18; 18/1; 25; 37/1) нь габброфитлог структуртай, цул, заримдаа сулавтар брекчлэг текстуртай, клинопироксен 40-45%, плагиоклаз 40-45%, эвэрхуурмаг 15%, акцессор эрдсээс сфен, титаномагнетитаас тогтоно. Клинопироксен нь призмлэг, зөв бус хэлбэртэй, хоёрдогч хувиралд өртөөгүй, унтралын өнцөг $C:Ng=36-38^\circ$ авгитын найрлагыг илэрхийлнэ. Плагиоклаз нь урт сунасан болон богино призмлэг хэлбэртэй, хоёрдогчоор соссюритаар хүчтэй, карбонат, клиноцоизит, серицитээр харилцан адилгүй түрэгджээ. Бор ногоон өнгийн эвэрхуурмаг нь тремолит-актинолитээр түрэгдсэн ажиглагдана. Хагарал орчим тархах габброидын плагиоклаз, клинопироксены мөхлөгүүд бага зэрэг эвдэрч, тахийж шилжин, заримдаа тасарч жижиг мөхлөгтэй болсноор сулавтар брекчлэг, үеллэг, туузлаг текстур тодажиглагдана (Зураг 3д-е).

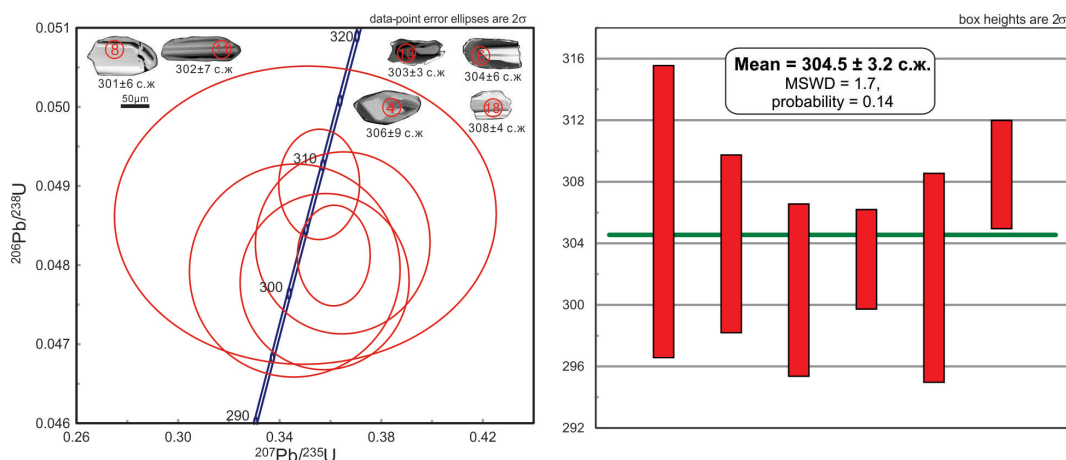


Зураг 3. Хилийн массивын хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай чулуулгийн шлифийн микрофото зураг.

а.Дунит (Kh-24-01), б.Гарцбургит (Kh-24-09), в.Верлит (Kh-24-20), г.Пироксенит (Kh-24-17)
д.Габбронорит (Kh-24-07), е.Габбро (Kh-24-25). Эрдсүүдийн товчлол: ol-оливин, cpx-клинопироксен, орх-ортопироксен, serp-серпентин, pl-плагиоклаз, hbl-эвэрхуурмаг, oge-хүдрийн эрдэс

Геохронологийн судалгаа. Хилийн массивын насыг тодруулахаар судалгааны талбайн зүүн хэсэгт хэт суурилаг чулуулагтай эвшилдэн тархах габброгийн дээж (Kh-24-18, координат N49°32'32.2", E112°56'04.2")-ийг U-Pb-ны аргаар геохронологийн шинжилгээнд хамруулсан. Уг дээжээс нийтдээ 20 цирконы мөхлөг ялгаснаас 6 мөхлөгт 95%-иас дээш итгэлцүүр бүхий $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -ны насны конкорд өгөгдлүүд

байв. Катод-люминесценцийн зургаас харахад цирконы мөхлөгүүд нь 70-120μm хэмжээтэй, урт сунасан болон богино призмлэг хэлбэртэй, хар саарлаас бүдэг саарал өнгөтэй, бүслүүрлэг тогтоцтой байх ба цөөн мөхлөгүүд эвдрэлд орж анхдагч хэлбэр дүрсээ алдаж мөлгөржсөн, хүрээ хэсгээрээ хар саарал өнгөтэй болсноос харахад дахин талсжилтанд орсон байхаар ажиглагддаг (Зураг 4а).



Зураг 4. Хилийн массивын габбро (Kh-24-18)-ийн дээжийн цирконуудын катод-люминесценци (CL)-ийн зураг, конкордын диаграмм ба насны дундаж өгөгдлүүд

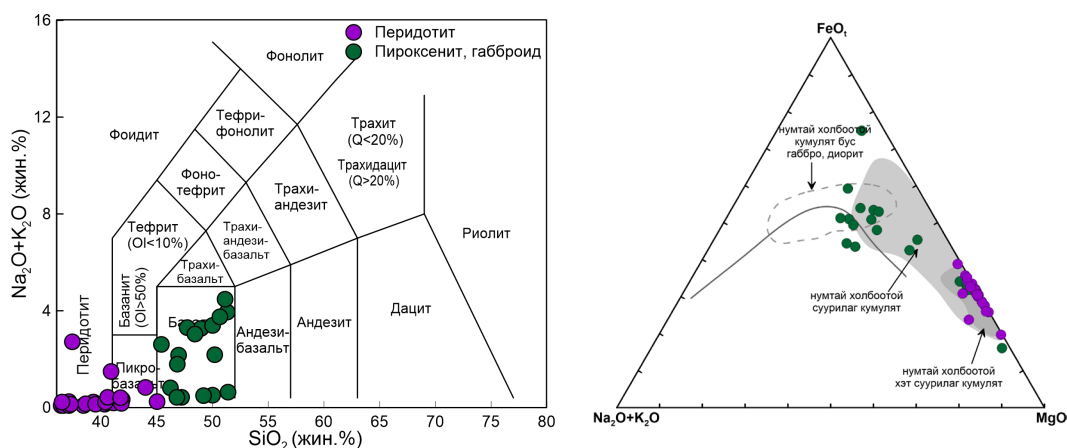
Хилийн массивын габброгийн үүслийн насыг 6 цирконы мөхлөгийн жигнэсэн дундаж утгаар 304.5 ± 3.2 сая жил буюу хожуу карбоны настай болохыг тогтоов (Зураг 4б).

Петрохимийн судалгаа: Хэт суурилаг чулуулаг болох дунит, верлит нь петрохимийн хувьд MgO (27.0-38.7 жин.%), Fe_2O_3 (9.35-17.4 жин.%)-ийн өндөр агуулга, SiO_2 (36.5-45.0 жин.%), Al_2O_3 (0.6-3.8 жин.%), CaO (0.12-5.8 жин.%), TiO_2 (0.05-0.45 жин.%) болон нийлбэр шүлтийн ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 0.08-0.24$ жин.%) маш бага агуулгаар тодорхойлогдох бөгөөд маагнилаг шинж $\text{Mg\#}$ ($100 * \text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) нь

73.2-88.7 хооронд хэлбэлздэг. Суурилаг найрлагатай чулуулаг болох пироксенит, габброид нь MgO (5.2-20.1 жин.%), Fe_2O_3 (6.6-10.2 жин.%) бага, SiO_2 (45.4-51.4 жин.%), Al_2O_3 (3.6-23.1 жин.%), CaO (7.3-16.0 жин.%) -ийн өндөр агуулга, нийлбэр шүлтийн ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 0.42-3.95$ жин.%) бага агуулгаар тодорхойлогдох бөгөөд $\text{Mg\#}$ ($100 * \text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) нь 44.8-84.9 өндөр маагнилаг шинжээр илэрхийлэгдэх хэдий ч $\text{K}_2\text{O} < 0.6$ жин.% буюу бага агуулгаар маантийн чулуулаг болох нь харагдана. Магмын чулуулгийн ангиллын диаграммаас харахад хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай чулуулаг бүрдүүлэгч гол ислүүд нь перидотит, пироксенит,

габброидын нэг эх үүсвэртэй магмаас ялгарлаар үүссэн болох нь илэрхий харагдана (Зураг 5а). Тэрчлэн AFM диаграммыг байгуулахад

офиолит эвшлийн чулуулгууд нумтай холбоотой хэт суурилаг болон суурилаг кумулятын эх үүсвэртэй байна (Зураг 5б).

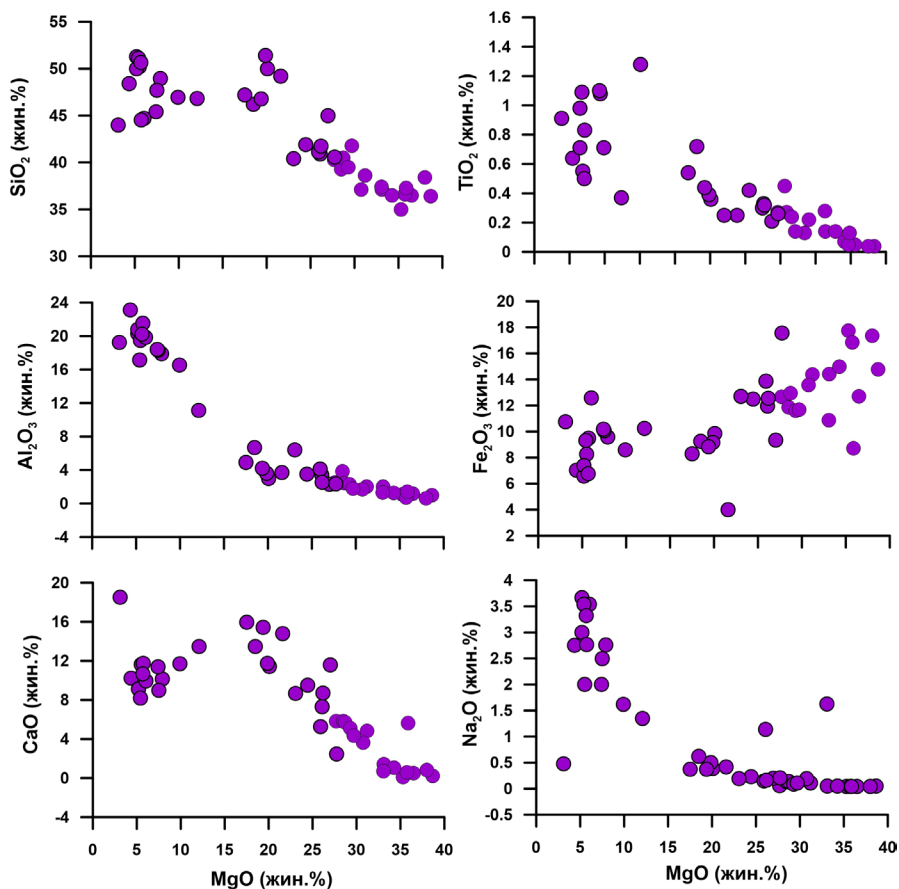


Зураг 5. а. Магмын чулуулгийн SiO_2 - $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ангиллын диаграмм (Le Maitre et al., 1989);
б. AFM буюу $[(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{FeO} - \text{MgO}]$ диаграмм (Coleman, 1977)

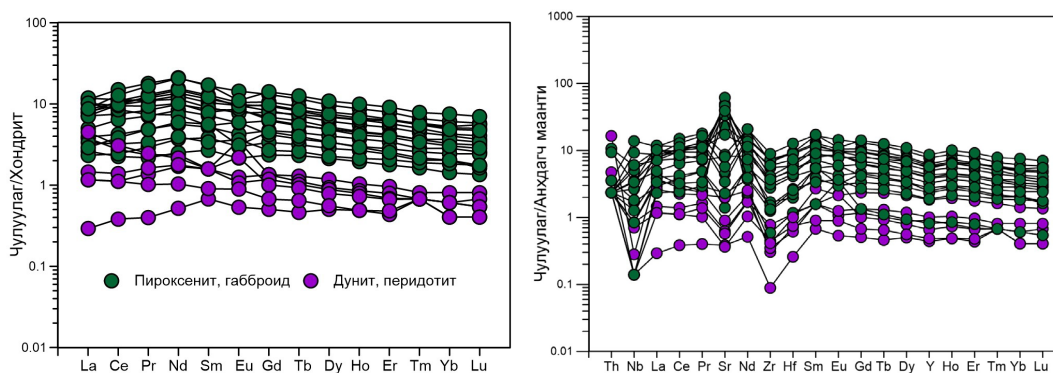
Тэрчлэн хэт суурилаг, суурилаг найрлагатай чулуулгийн гол чулуулаг бүрдүүлэгч ислүүдийг магнийн исэлтэй харьцуулахад MgO агуулга өсөхөд цахиур, титан, хөнгөнцагаан, натрийн ислүүдийн агуулга буурч, төмрийн ислийн агуулга өсч буй зүй тогтол нь нэг магмын эх үүсвэртэй болохыг харуулна (Зураг 6). Харин кальцийн ислийн агуулга перидотит, габброидод буурч, пироксенитод ихсэж байгаа нь кальци агуулсан пироксен (диопсид-геденбергит, авгит), амфибол (эвэрхурмаг, тремолит)-той холбоотой. Шатаалтын хорогдлын утгууд (LOI) дунит, перидотитод 4.0 – 11.0 жин%, пироксенит, габброидод 1.5 – 5.1 жин.% хооронд хэлбэлзэх бөгөөд эдгээр утгууд нь анхдагч ба хоёрдогч хувирлын үе шатууд болох петрографийн судалгааны карбонат, хлорит, серпентин, амфиболын бүлгүүдийн эрдсүүдтэй холбоотой байдаг.

Геохимийн судалгаа: Геохимийн хувьд C1 хондритод нормчилсон ГХЭ-ийн тархалтын

диаграммаас харахад перидотитууд нь маантийн эх үүсвэрийн өндөр зэргийн шавхагдалтай холбоотой, суурилаг чулуулагтай нэг гарал үүсэлтэй болох нь харагдана (Зураг 7а). Суурилаг найрлагатай чулуулгийг C1 хондритоор нормчилсон газрын ховор элементийн тархалтын муруйгаас харахад пироксенит, габброид нь $\text{X}_{\text{ГХЭ}}$ (хөнгөн газрын ховор элемент)-ээр сулавтар шавхагдсан буюу La-аас Sm хүртэл өсөн $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 0.51 - 1.30$, Eu эерэг гажил $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.61 - 1.25$ болон $\text{Dy}/\text{ГХЭ}$ (дунд газрын ховор элемент)-ээс $\text{X}_{\text{ГХЭ}}$ (хүнд газрын ховор элемент) рүү бараг хавтгай гажилыг үзүүлж байгаа нь далайн спредингийн бүсийн шавхагдсан маантиас гарал үүсэлтэй чулуулагтай буюу энгийн далайн голч нурууны базальттай дүйж байгааг харуулж байгаа юм (Зураг 7а). Мөн суурилаг найрлагатай чулуулгийн Eu-ийн эерэг гажил нь кальцилаг плагиоклазын хуримтлалыг, харин хавтгай гажил нь нилээдгүй клинопироксен агуулсан болохыг харуулдаг (Berger et al, 2001).



Зураг 6. Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсүүдийг магнийн исэлтэй харьцуулсан бинарны диаграмм



Зураг 7. Хилийн массивын хэт суурилаг, суурилаг чулуулгийн а. С1 хондритоор нормчилсон ГХЭ-ийн тархалтын муруй, б. Анхдагч маантийн найрлагаар нормчилсон ховор элементийн аалзан диаграмм (Sun and McDonough, 1989)

Тэрчлэн перидотитод Cr агуулга 1500–3100 ppm өндөр байхад Ni 840–1980 ppm өндөр бол харин пироксенитод Cr агуулга 700 ppm-ээс хэтрэхгүй, Ni агуулга бага байхаас гадна бусад ховор элементүүдийн маш бага буюу анхдагч маантийн түвшиний агуулгаар ялгагддаг онцлогтой (Зураг 7а).

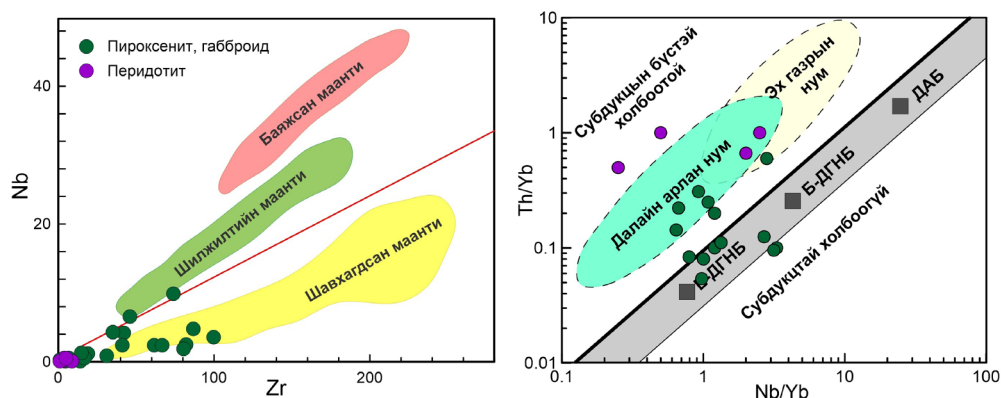
Анхдагч маантид нормчилсон спайдер диаграммаас харахад перидотит нь ховор элементүүдийн маш бага буюу анхдагч маантийн түвшиний агуулгаар эвшлийн бусад гишүүдээс эрс ялгагдах бөгөөд том ионтой литофиль элементүүд Th баяжсан, өндөр цэнэгтэй элементээр Sr, Nb, Zr ядуурсан байгаа геохимийн онцлогийг харуулна (Зураг 7б). Харин пироксенит, габброид нь анхдагч маантид нормчилсон спайдер диаграммаас харахад ховор элементүүдийн бага агуулгатай, том ионтой литофиль элементүүд Sr, Th баяжсан, өндөр цэнэгтэй элемент Nb-оор сулавтар ядуурсан геохимийн шинжийг үзүүлнэ (Зураг 7б).

Тэрчлэн Zr, Nb, Y зэрэг нийцлэг бус элементүүдийг магмын эх үүсвэрийн шинжийг ялгах зорилгоор ашигладаг (Pearce and Cann, 1973) ба Zr-Nb-ийн бинарны диаграммыг ашиглахад хэт суурилаг, суурилаг чулуулаг нь шавхагдсан маантийн эх үүсвэртэй болох нь тод харагдаж байна (Зураг 8а).

Геодинамик нөхцөл: Геодинамик орчныг тодруулахад торий нь хөдөлгөөнгүй, тогтвортой элементэд тооцогддог бөгөөд түүний агуулга субдукцын бүсэд баяжиж, метаморфизм болон хувирлын явцад өөрчлөгддөггүй онцлогтой (Wood, 1979). Иймээс офиолитуудын үүссэн орчныг ялгахад ашигладаг Nb/Yb-Th/Yb харьцуулсан диаграммыг байгуулахад субдукцтай холбоотой далайн голч нурууны базальтаас субдукцын дээрх нөхцөлд далайн арлан нумын фрагментыг үүсгэжээ (Зураг 8б). Ер нь хэт суурилаг, суурилаг кумулят чулуулаг нь далайн царцдасын ёроолд байрлах

идэвхтэй магмын камерт базальтын хайлашаас өндөр ба нам даралтын талсжилтын үр дүнд субдукцын дээрх нөхцөлд үүсдэг болохыг олон судлаачид судалгааны ажлууддаа тэмдэглэсэн байдаг.

Геологийн хувьд Хилийн массив нь ногоон занарын болон амфиболитын фацын метаморф хурдас бүхий суурь чулуулгуудтай нягт холбоотойгоор тархдаг нь офиолитын угшилтайг батлах бөгөөд Монгол–Агнуурын далайн субдукцын дээд хэсэгт үүссэн офиолитын хэт суурилаг, суурилаг чулуулаг гэж үзэж байна. *Ийнхүү I үе шат – Далайн литосферийн үүсэл:* Протерозойн төгсгөл–түрүү палеозойн үед Монгол–Агнуурын далай (Баянхонгор, Ихдахирын офиолит) нээгдэж, шавхагдсан маантийн хайлшийн үр дүнд далайн голч нурууны базальт болон перидотитын давхарга үүсжээ (Оюунчимэг нар, 2025). *II үе шат – Субдукц эхэлсэн үе:* Хожуу кембрийн үеэс эхлэн далайн царцдас Сибирийн кратон доогуур шурган, субдукцын бүс үүссэнээр маантийн шаантаг (mantle wedge)-д метасоматизм явагдаж, MgO ба Th-ийн өндөр агуулгатай хэт суурилаг–суурилаг магм бүхий Ононы бүсийн дагуух офиолит эвшлүүд (Адаацаг, Хартолгойн офиолит) үүсэв (Оюунчимэг нар, 2025). *III үе шат – Supra-subduction магматизм:* Хожуу карбоны үед субдукцын дээд хэсэгт бий болсон маагмын камерт фракцын талсжилт явагдаж, дунит–верлит–пироксенит–габброидын дараалсан кумулят биетүүд бүхий Хилийн массив үүссэн. Энэ үе нь ховор элементүүдийн үр дүнгээр тодорхойлогдох *супрасубдукцын орчин (island arc/back-arc basin)*-д хамаарна. *IV үе шат – Коллиз ба тектоник холилдолт (хавсарга):* Мезозойн эхэн үеэс эхлэлтэй коллизын процессоор Хилийн массив нь Эрэндавааны блок болон Хайчингол формацийн метаморф суурийн хурдастай тектоник хил зааг үүсгэн хэлбэржиж, ногоон занар, амфиболит, кварцит бүхий суурь чулуулгуудтай хамт илэрсэн гэж үзлээ.



Зураг 8. Тектоник ангиллын диаграммууд. а. Nb болон Zr харьцааны диаграмм (Geng et al., 2011), б. Nb/Yb- Th/Yb харьцааны диаграмм (Pearce, 2014)

5. Дүгнэлт

1. Хилийн массив нь серпентинжсэн перидотит, верлит, пироксенит, габброидоос тогтдог болохыг петрографийн судалгаа болон петрохимийн судалгаагаар баталгаажуулав.
2. Хилийн массивын хэт суурилаг (дунит, верлит, гарцбургит) болон суурилаг (пироксенит, габброид) чулуулгууд нь ховор элементүүдийн үр дүнгээс Th баяжсан, Sr, Nb, Zr ядуурсан, суурилаг найрлагатай чулуулаг нь Sr, Th баяжсан, өндөр цэнэгтэй элемент Nb-оор сулавтар ядуурсан байгаа нь шавхагдсан маантийн хэсэгчилсэн хайлалтаас субдукцын бүсийн дээд хэсэгт, далайн арлан нумын болон нумын арын савын (supra-subduction zone) орчинд үүссэн болохыг тодруулав.
3. Уг массивын габброгийн дээжийн жигнэж дундажласан чулуулгийн талсжилтын конкордант нас нь 304.5 ± 3.2 сая жил буюу хожуу карбоны цаг үед талсжсан болохыг тогтоолоо.

Ашигласан хэвлэлийн жагсаалт

- Агафонов Л.В., Изох А. Э., Ступаков С. И. 1987. Дунит-верлит-клинопироксенит-габбровая формация Монголии. Новосибирск: ИГИГ, 47с.
- Благоднаров В.А. и др., 1968. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Ульды и Керулен и хр.Эрэндабан. 1757Ф
- Геология Монгольской Народной Республики, 1973. ТОМ-II, Изд-во Недра, Москва
- Далай нар., 1996. Халиуны талбайд 1992-1994 онуудад явуулсан 1:50 000 масштабын геологийн зураглал, ерөнхий эрлийн тайлан, 4936Ф
- Изох А.Э., 1998. Расслоенные ультрабазит-базитовые ассоциации как индикаторы геодинамических обстановок: На примере Центрально-Азиатского складчатого пояса, диссертация доктора геолого-минералогических наук, Новосибирск, 403с
- Леднева Г. В., Базылев Б. А., Layer P., Кузьмин Д. В., Кононкова Н. Н., 2020. Тектоническая позиция и обстановка формирования мезозойского массива кумулятивных дунитов-верлитов-оливиновых клинопироксенитов-габбро восточной чукотки. Геотектоника (4), 3-26.
- Махбадар Ц., 2005. Дорнод Монголын гипербарзит-габброидын структурийн байрлал. Геологи, №12, х.80-86
- Махбадар Ц. нар., 2003. Монгол Улсын 1:200 000

- масштабын геологийн зургийн тайлбар бичиг /Дорнод Монголын сери/
- Мөнгөншагай Ц. нар., 2024. Дорнодаймгийн Баяндун, Баян-уул, Норивлин, Чулуун хороот, Дашбалбар, Сэргэлэн, Цагаан-Овоо, Баянтүмэн, Гурванзагал, Чойбалсан сумдыг хамарсан “УГЗ-200 Дорнод Монгол-VII” талбайд гүйцэтгэсэн 1:200 000-ны масштабтай Улсын геологийн иж бүрдэл зураг
- Оюунчимэг Т, Эрдэнэчимэг Д, Шарав Д, Наранцэцэг Ц, Эрдэнэжаргал Ч, Булганзаяа Л, Ариунаа Н, Энхдалай Б, 2025. Өмнөд Хэнтийн бүсийн офиолит эвшил: геологи, геохими ба палеогеодинамик суурь судалгааны төслийн тайлан, х.186
- Төмөртоогоо О, 2017. Монгол Улсын нутаг дэвсгэрийн тектоник дүүрэгчлэл, Масштаб 1:3000000
- Эрдэнэчимэг Д, Энхбаяр Б, Болдбаатар Г, Дамдинжав Б, Тайванбаатар Ц 2017. “Геомэдээллийн сан-2013” төслийн хүрээнд 2014-2017 онуудад гүйцэтгэсэн Монгол Улсын 1:500000-ны масштабын геологийн зураг зохиох төслийн ажлын үр дүнгийн тайлан. №8480Ф
- Berger, S., Cochrane, D., Simons, K., Savov, I., Ryan, J.G., Peterson, V.L., 2001. Insights from rare earth elements into the genesis of the Buck Creek complex, Clay County, NC, SE. *Geol.* 40 (3), 201-212
- Coleman Robert G., 1977. Ophiolites ancient oceanic lithosphere? 239p
- Dilek Y., Furnes H., 2014. Ophiolites and Their Origins. *Elements*, 10:93-100
- Geng, H., Sun, M., Yuan, C., Zhao, G., Xiao, W., 2011. Geochemical and geochronological study of early Carboniferous volcanicrocks from the West Junggar: petrogenesis and tectonic implications. *J. Asian Earth Sci.* 42, 854–866.
- Le Maitre R.W, Bateman P, Dudek A. et al., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Science Publication, Oxford, UK.
- Pearce J.A., 2014. Ophiolites: immobile element fingerprinting of ophiolites. *Elements*, 10(2), p.101-108
- Sheng-Zhu Zhua., Xiao-Long Huang., Fan Yang., Peng-Li He, 2021. Petrology and geochemistry of early Permian mafic-ultramafic rocks in the Wajilitag area of the southwestern Tarim Large Igneous Province: Insights into Fe-rich magma of mantle plume activity. *Lithos* 388-399
- Sun M.S., McDonough W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. and Norry M.J. (eds) *Magmatism in ocean basins*. Geol. Soc. London, Spec. Pub. 42, 313-345
- Wood D.A., 1979. A variably varied suboceanic upper mantle genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence. *Geology*, 7, p.499-503
- Zhong-Jie Bai., Hong Zhong., Wei-Guang Zhu., Wen-Jun Hu, 2022. Mantle plume-subducted oceanic slab interaction contributes to geochemical heterogeneity of the Emeishan large igneous province, *Chemical Geology* (611)