

СУДАЛГААНЫ ӨГҮҮЛЭЛ

ГОВЬ-АЛТАЙ АЙМАГ, ЧАНДМАНЬ СУМЫН НУТАГТ ОРШИХ АККРЕЦЫН КОМПЛЕКСЫН ГРАНАТАТ АМФИБОЛИТ, АМФИБОЛИТЫН МЕТАМОРФИЗМ

О.Жавхлан^{1*} | К.Наемура² | Д.Энхцацрал¹ | Д.Отгонбаяр³ | А.Такасу⁴

¹ ШУТИС, Геологи, уул уурхайн сургууль, Улаанбаатар, Монгол улс

² Киотогийн Их Сургууль, Киото, Япон улс

³ Тохоку Их Сургууль, Тохоку, Япон улс

⁴ Шимане Их Сургууль, Шимане, Япон улс

Abstract

Хүлээн авсан: 2020.10.08

Засварлагдсан: 2021.04.25

Зөвшөөрөгдсөн: 2021.04.28

Түлхүүр үг: amphibolite, mélange zone, Lake Zone

Харилцах зохиогч:

О. Жавхлан ШУТИС, Геологи, уул уурхайн сургууль, Улаанбаатар хот, Монгол улс

Имэйл: geojavkhaa@gmail.com

The eclogite-, ophiolite-, and serpentinite-bearing accretionary complex in the Lake Zone, SW Mongolia occupies the central region of the Central Asian Orogenic Belt. The complex consists mainly of orthogneisses intercalated with eclogites and amphibolite in a mélange zone. Most of eclogites are strongly amphibolitized. In this study, we examined petrography and mineral chemistry of amphibolite and newly found garnet amphibolite within marble. The result of our research shows that metamorphic P-T gradient of Chandman accretionary complex is now can be characterized as low-pressure LT ophiolite zone from the north and medium-pressure MT to HT zones of eclogite-, garnet amphibolite- and serpentinite-bearing units to the south contact with Zamtyн Nuruu basement block. This P-T gradient indicates typical Barrovian-type regional metamorphism.

1. ОРШИЛ

Монгол улсын нутаг дэвсгэр нь Төв Азийн Ороген Бүсд (ТАОБ) хамаарагдах (Mossakovsky, 1994; Jahn et al., 2000; Jahn et al., 2004) бөгөөд ТАОБ-ийн тектоник эволюц нь неопротерозойгоос карбонь цаг үе хүртэл үргэлжлэн явагдсан аккрецлагдсан эх газрын үүсэл хөгжил, түүний дараах перм-триасын цаг үед явагдсан коллизын деформациар (Lehmann et al., 2010; Schulmann and Paterson, 2011; Xiao et al., 2015, 2018) тодорхойлогдоно. Монгол орны нутаг дэвсгэрт тархсан палеозойн цаг үе хүртэлх үед үүссэн тектоникийн нийлмэл формац ба бүрдлүүд гэвэл неопротерозойн настай эклогиттой офиолитуудаар тохрогдсон протерозойн суурь царцдас (Štírnýský et al., 2010; Buribek et al., 2017; Skuzovatov et al., 2017; Javkhan et al., 2014, 2019), суурь царцдасыг түрсэн кембри-ордовикийн маш том хэмжээний

нумын маагмын чулуулгууд, түүнтэй холбоотой офиолитууд (Janošek et al., 2018)-аас тогтох ба урагшаагаа Монгол болон Хятадын нутгаар дамжсан Алтайн нуруу нь голдуу ордовикийн настай аккрецын шаантагтай холбоотой харилцан адилгүй метаморфизмд орсон турбидит гаралтай тунамал чулуулгуудаас бүрдсэн (Jiang et al., 2017; Burenjargal et al., 2014; Xiao et al., 2009).

Говь-Алтай аймаг, Чандмань сумын дүүрэг нь хойд талаараа неопротерозойн настай Эрдэнэ-Уул офиолитоор тохрогдсон өндөр-даралтын метаморфизмаар үүссэн эклогитын томоохон биетүүд болон ортогнейсээс бүрдсэн Алагхад комплекс, энэхүү комплекс нь урд талаараа голдуу гантиг болон метапелитээс тогтох Майханцахир формацтай хиллэнэ. Майханцахир формац урд талаараа серпентинитийн томоохон биеттэй хагарлаар хиллэдэг. Эрдэнэ-Уул офиолит,

Алагхад комплекс, Майханцахир формац, серпентинитийн биетүүд нь неопротерозойн цаг үед хөгжсөн аккрецын комплексд ялгагддаг (Buriбnek et al., 2017; Javkhlan et al., 2019). Аккрецын комплекс нь урдуураа мөн неопротерозойн цаг үед хэлбэржсэн амфиболитын фашын метаморфизмд орсон Замтыннуруу царцдаст комплекс (Kruner et al., 2010) -той хиллэх бөгөөд Замтыннуруу комплекс нь кембрийн настай коллизын дараах интрузив бүрдлүүд (Hrdličkovб et al., 2010)-ээр зүсэгдсэн байдаг.

Алагхад комплексд эклогитын томоохон биетүүдээс гадна хэд хэдэн амфиболитын биетүүд тархсан байдаг. Мөн бидний хээрийн судалгааны ажлын явцад Майханцахир формацын гантиг дотор жижиг линз хэлбэрээр гранатат амфиболит шинээр тогтоогдсон. Гранатат амфиболитын линзийн ойролцоо серпентинитийн томоохон биет хиллэж буй юм. Петрологийн судалгааны үр дүнд Алагхад комплексын амфиболит болон Майханцахир формацын гранатат амфиболитын метаморфизмын зэрэг нь ихээхэн ялгаатай байгаа нь тогтоогдлоо.

2. ПЕТРОГРАФИ БА ЭРДСИЙН ХИМИ

Амфиболит

Алагхад комплексын амфиболит нь голдуу ногоон эвэрхуурмаг, плагиоклаз, аксессуар байдлаар гранат, калийн хээрийн жонш, рутил, титанит, эпидот, парагонит ба кварцаас тогтоно.

Гранат нь 0.5 мм хүртэл хэмжээтэй гадуураа ногоон эвэрхуурмаг, плагиоклазын жижиг талстуудаар хүрээлэгдэн корона маягийн структурыг үүсгэнэ. Гранатын химийн найрлага нь альмандин-гроссулярын төрлийн ($Alm_{57-62}Grs_{29-36}Pyg_{5-6}Sps_{2-5}$) байна. Бүслүүржилтийн хувьд гранатын төвөөс захруу болох тусам манганы агуулга багасдаг бол эсрэгээрээ магнийн агуулга ихэсдэг. Харин кальцийн агуулга төвөөс захруу ялимгүй ихэсдэг бол төмрийн агуулга тогтмол байдаг.

Ногоон эвэрхуурмаг нь 1 мм хүртэл

хэмжээтэй, хэлбэрийн хувьд голдуу богино призмлэг байдаг. Эвэрхуурмаг нь бүслүүрлэг тогтоотой бөгөөд төвийн хэсэг нь Mg-эвэрхуурмагийн найрлагатай бол захруугаа паргазит эсвэл чермакит, Fe-эвэрхуурмагийн найрлагатай болж өөрчлөгддөг.

Плагиоклаз (An_{5-12}) нь голдуу ногоон призмлэг эвэрхуурмагуудын хооронд дүүргэсэн маягтай хамтдаа талсжсан байдаг.

Гранатат амфиболит

Гранатат амфиболит нь голдуу гранат, хүрэн эвэрхуурмаг, плагиоклазаас тогтох ба аксессуар байдлаар кварц, рутил, ильменит, биотитоос тогтоно. Гранат нь порфириобласт структуртай бөгөөд хүрэн эвэрхуурмаг, плагиоклазын жижиг мөхлөгүүдийн дунд томоор талсжсан байдаг. Нематобласт богино призмлэг хүрэн эвэрхуурмаг, плагиоклазын талстууд нь занарлаг текстурыг үүсгэнэ.

Ихэнх гранат нь 1.5 мм хүртэл хэмжээтэй хэлбэрээ харилцан адилгүй олсон бөгөөд заримдаа плагиоклазын мөхлөгүүд нь гранатыг тойрон хүрээлж корона маягийн структурыг үүсгэнэ. Гранатын ан цавыг альбит, эпидот, хлоритын мөхлөгүүд дүүргэсэн байдаг. Гранатын найрлага нь ($Alm_{51-57}Grs_{18-27}Prp_{18-25}Sps_{<2}$) альмандин-гроссуляр-пиропын төрөл бөгөөд сулхан бүслүүржилт тогтоогдсон болно. Гранатын мөхлөг дэх манганы агуулга төвөөсөө захруу буурдаг бол магнийн агуулга ихэсдэг, кальцийн агуулга харилцан адилгүй хэлбэлздэг, харин магнийн агуулга буурахад кальцийн агуулга ихэсж, төмрийн агуулга тогтмол байна.

Хүрэн эвэрхуурмаг нь 1 мм хүртэл хэмжээтэй, богино призмлэг талстуудаас тогтоно. Эвэрхуурмагийн төвийн хэсэг нь голдуу Mg-эвэрхуурмаг бол захруугаа өндөр-Ti (<0.21 pfu) K_2O (1.91 wt%) –той чермакит болж өөрчлөгддөг.

Плагиоклаз нь 1 мм хүртэл хэмжээтэй, хэлбэрээ хагас олсон призмлэг мөхлөгүүдээс тогтох бөгөөд анортитын агуулга 13-аас 61 хүртэл хэлбэлздэг бөгөөд

олигоклаз ба лабрадоритын төрөл байна.

3. ГРАНАТАТ АМФИБОЛИТ БА АМФИБОЛИТЫН ҮҮССЭН МАКСИМУМ ДАРАЛТ-ТЕМПЕРАТУРЫН НӨХЦӨЛ

Гранатат амфиболитын петрографи, эрдсийн ассоциац, эрдсийн химийн найрлага дээр тулгуурлан бид эдгээр чулуулгууд нь Барровын төрлийн дундаж даралт болон өндөр- ба дундаж-температурын нөхцөлд үүсэн бий болсоныг тогтоолоо.

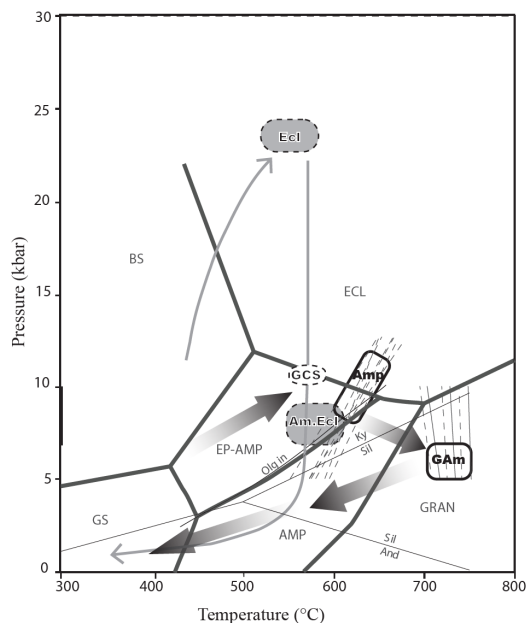
Амфиболит нь голдуу ногоон эвэрхуурмаг, плагиоклазаас тогтох бөгөөд энэ хоёр эрдсээр тооцоологдсон эвэрхуурмаг-плагиоклазын термометрийн тэгшитгэлээр (Holland and Blundy, 1994) үүссэн дундаж температурыг тооцоолоход 600-660°C, мөн дээрх эрдсүүдээр тооцоологдсон эвэрхуурмаг-плагиоклазын барометрийн тэгшитгэлээр (Molina et al., 2015) үүссэн дундаж даралтыг тооцоолоход 9-12 кбар даралтын нөхцөл буюу эпидот-амфиболитын фацд талсжсан болох нь тогтоогдож байна.

Тооцоологдсон даралт-температурын нөхцөл нь ерөнхийдөө дундаж даралт-температурын нөхцлийг зааж буй бөгөөд өмнөх судалгаагаар тогтоогдсон амфиболжсон эклогит болон Майханцахир формашын метapelитын даралт-температурын нөхцөлтэй (550–610 °C and 7–11 кбар; Javkhlan et al., 2013, 2019) таарж байна.

Гранатат амфиболит голдуу хүрэн өнгийн эвэрхуурмаг, плагиоклазаас тогтох бөгөөд эвэрхуурмаг-плагиоклазын термометрийн тэгшитгэлээр (Holland and Blundy, 1994) үүссэн дундаж температурыг тооцоолоход хамаагүй өндөр 700-750°C, эвэрхуурмаг-плагиоклазын барометрийн тэгшитгэлээр (Molina et al., 2015) үүссэн дундаж даралтыг тооцоолоход харьцангуй бага 5-7 кбар даралтын нөхцөл буюу гранулитын фацд талсжсаныг тогтоолоо.

Эндээс гранатат амфиболитын талсжилтын нөхцөл (700-750°C, 5-7 кбар) нь амфиболитын талсжилтын нөхцөл (600-

660°C, 9-12 кбар)-тэй харьцуулахад гранатат амфиболит нь харьцангуй өндөр градиентын метаморфизмд орсныг илтгэнэ.



Зураг 1. Чандмань дүүргийн аккрецын комплексын метаморф даралт-температурын замнал.

Amp: амфиболит, **GAm:** гранатат амфиболит (энэ судалгаа), **GCS:** гранат-хлоритоидот занар (Javkhlan et al., 2013); **Ecl, Am.Ecl:** эклогит ба амфиболитжсон эклогит (Javkhlan et al., 2019)-ын үүссэн даралт-температурын нөхцлүүд (**BS**-хөх занарын фац; **ECL**-эклогитын фац; **EP-AMP**-эпидот-амфиболитын фац; **GS**-ногоон занарын фац; **AMP**-амфиболитын фац; **GRAN**-гранулитын фац). **Olg in**-олигоклаз талсжиж эхлэх нөхцлийн шугам (Maruyama et al., 1983); **Ky**-кианит; **Sil**-силлиманит; **And**-андалузит

4. ДҮГНЭЛТ

Чандмань дүүргийн аккрецын комплексын метаморф хөгжил

Чандмань дүүргийн аккрецын комплексын метаморф даралт-температурын градиент

өмнөх судалгаанууд болон энэ судалгааны үр дүнд 3 түвшинд ялгарч байна. Үүнд: Эрдэнэ-Уул офиолитд тогтоогдсон намдаралт ба нам температурын ногоон занарын метаморфизм (Javkhlan et al., 2017), эклогит агуулсан Алагхад метаморф комплексын амфиболитд дундаж температур болон дундаж даралтын эпидот-амфиболитын фацын метаморфизм (кианитын тогтвортой муж), Майханцахир формацийн гранатат амфиболитд өндөр температур ба дундаж даралтын гранулитын фацын метаморфизм (силлиманитын тогтвортой муж)-ууд тус тус ялгагдаж байна. Энэ 3 түвшний метаморфизм нь Барровын төрлийн региональ метаморфизмын төрөлд хамаарна.

Эклогит агуулсан Алагхад комплексын метаморфизм нь аккрецын деформацийн холбоотой бол Майханцахир формацийн гранатат амфиболитын өндөр-температурын метаморфизм нь орогены дараах магматизмын халалттай холбоотой байх гэж үзэж байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг хийхэд эрдсийн химийн шинжилгээг хийх нөхцөл бололцоогоор хангаж өгсөн Япон улсын Шимане, Тохоку, Нагоягийн их сургуулиудын удирдлагуудад талархал илэрхийлье.

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. *J. Asian Earth Sci.*, 21, 87–110.

Burenjargal, U., Okamoto, A., Kuwatani, T., Sakata, S., Hirata, T., & Tsuchiya, N., 2014. Thermal evolution of the T seel terrane, SW Mongolia and its relation to granitoid intrusions in the C entral A sian O rogenic B elt. *Journal of Metamorphic Geology*, 32(7), 765-790.

Buriбnek, D.; Schulmann, K.; Hrdličkovб,

K.; Hanžl, P.; Janoušek, V.; Gerdes, A.; Lexa, O., 2017. Geochemical and geochronological constraints on distinct Early-Neoproterozoic and Cambrian accretionary events along southern margin of the Baydrag Continent in western Mongolia. *Gondwana Res.* 47, 200–227.

Holland, T.; Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contrib. Miner. Pet.* 116, 433–447.

Hrdličkovб, K.; Gerdes, A.; Gilikova, H.; Bat-Ulzii, D.; Hanzl, P., 2010. Burd Gol Granite Massif as a product of the Late Cambrian post-orogenic magmatism in the SE part of the Lake Zone, Gobi Altay, SW Mongolia. *J. Geosci.* 55, 369–386.

Jahn, B.-M.; Windley, B.; Natal'In, B.; Dobretsov, N., 2004. Phanerozoic continental growth in Central Asia. *J. Asian Earth Sci.* 23, 599–603.

Jahn, B.-M.; Wu, F.; Chen, B., 2000. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and continental growth in the Phanerozoic. *Earth Environ. Sci. Trans. R. Soc. Edinb.* 91, 181–193.

Janoušek, V., Jiang, Y., Buriанek, D., Schulmann, K., Hanžl, P., Soejono, I., ... & Ganchuluun, T., 2018. Cambrian–ordovician magmatism of the Ikh-Mongol Arc system exemplified by the Khantaishir Magmatic Complex (Lake Zone, south–central Mongolia). *Gondwana Research*, 54, 122-149.

Javkhlan, O., Takasu, A., Kabir, M.F., Skuzovatov, S., 2017. Geochemical characteristics of metatuffs and metabasalts of ophiolite complex of Khantaishir formation, lake zone, SW Mongolia, Mongolian Geoscientist, 46

Javkhlan, O.; Takasu, A.; Bat-Ulzii, D.; Kabir, M.F., 2013. Metamorphic pressure-temperature evolution of garnet-chloritoid schists from the Lake Zone, SW Mongolia. *J. Miner. Pet. Sci.* 108, 255–266.

Javkhlan, O.; Takasu, A.; Kabir, M.F.; Bat-Ulzii,

- D., 2014. K-Ar ages of amphibole-rich metamorphosed veins in eclogite bodies from the Lake Zone, SW Mongolia. *Earth Sci. (Chikyu Kagaku)* 68, 89–96.
- Javkhlan, T. O., Takasu, A., Kabir, M. F., & Batulzii, D., 2019. Multiple Metamorphic Events Recorded within Eclogites of the Chandman District, SW Mongolia. *Minerals*, 9(8), 495.
- Jiang, Y. D., Schulmann, K., Krüner, A., Sun, M., Lexa, O., Janoušek, V., ... & Hanzl, P., 2017. Neoproterozoic-Early Paleozoic Peri-Pacific Accretionary Evolution of the Mongolian Collage System: Insights From Geochemical and U-Pb Zircon Data From the Ordovician Sedimentary Wedge in the Mongolian Altai. *Tectonics*, 36(11), 2305–2331.
- Krüner, A.; Lehmann, J.; Schulmann, K.; Demoux, A.; Lexa, O.; Tomurhuu, D.; Štřpský, P.; Liu, D.; Wingate, M.T.D., 2010. Lithostratigraphic and geochronological constraints on the evolution of the Central Asian Orogenic Belt in SW Mongolia: Early Paleozoic rifting followed by late Paleozoic accretion. *Am. J. Sci.* 310, 523–574.
- Lehmann, J., Schulmann, K., Lexa, O., Corsini, M., Krüner, A., Štřpský, P., ... & Otgonbator, D., 2010. Structural constraints on the evolution of the Central Asian Orogenic Belt in SW Mongolia. *American Journal of Science*, 310(7), 575–628.
- Maruyama, S.; Suzuki, K.; Liou, J.G., 1983. Greenschist-Amphibolite Transition Equilibria at Low Pressures. *J. Pet.*, 24, 583–604.
- Molina, J. F., Moreno, J. A., Castro, A., Rodríguez, C., & Fershtater, G. B., 2015. Calcic amphibole thermobarometry in metamorphic and igneous rocks: New calibrations based on plagioclase/amphibole Al-Si partitioning and amphibole/liquid Mg partitioning. *Lithos*, 232, 286–305.
- Mossakovsky, A., 1994. Central Asian fold belt: Geodynamic evolution and formation history. *Geotectonics* 24, 445–474.
- Schulmann, K., & Paterson, S., 2011. Asian continental growth. *Nature Geoscience*, 4(12), 827–829.
- Skuzovatov, S.Y.; Shatsky, V.S.; Dril, S.I.; Perepelov, A.B., 2017. Elemental and isotopic (Nd-Sr-O) geochemistry of eclogites from the Zamtyn-Nuruu area (SW Mongolia): Crustal contribution and relation to Neoproterozoic subduction-accretion events. *J. Asian Earth Sci.* 167, 33–51.
- Štřpský, P.; Schulmann, K.; Lehmann, J.; Corsini, M.; Lexa, O.; Tomurhuu, D., 2010. Early Cambrian eclogites in SW Mongolia: Evidence that the Palaeo-Asian Ocean suture extends further east than expected. *J. Metamorph. Geol.* 28, 915–933.
- Xiao, W. J., Sun, M., & Santosh, M., 2015. Continental reconstruction and metallogeny of the Circum-Junggar areas and termination of the southern Central Asian Orogenic Belt. *Geoscience Frontiers*, 6(2), 137–140.
- Xiao, W., Krüner, A., & Windley, B., 2009. Geodynamic evolution of Central Asia in the Paleozoic and Mesozoic.
- Xiao, W., Windley, B. F., Han, C., Liu, W., Wan, B., Zhang, J. E., ... & Song, D., 2018. Late Paleozoic to early Triassic multiple roll-back and oroclinal bending of the Mongolia collage in Central Asia. *Earth Science Reviews*, 186, 94–128.