



## Original article

### PETROCHEMICAL STUDY OF MIDDLE-LATE PALEOZOIC SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS NEAR THE GREAT MEANDERING OF TUUL RIVER, CENTRAL MONGOLIA

Sodnom Khishigsuren\*, Nuramkhaan Manchuk, Ser-Od Tseden-Ish, Bayarmaa Batsaikhan

*Department of Geology and Hydrogeology, School of Geology and Mining Engineering, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar 14191, Mongolia*

*\*Corresponding author. Email: khishige@must.edu.mn*

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 14 May 2019

Accepted 30 June 2019

## ABSTRACT

The great meandering of Tuul River is located in the Khentii section of the Khangai-Khentii orogenic belt, Central Mongolia. At the study area, dominanty distributed sedimentary and metamorphic roks of venlok-lower Devonian Sugnugur Formation of Asralt Khairkhan terrane and Pensilvanian Altan-Ovoo Formation of Ulaanbaatar terrane. The source of sedimentary rock are important to understand the geology and tectonic evolution of the region. Whole-rock major elements compositions of 15 sandstone and mudrocks (siltstone and mudstone) and shale from the Sugnugur and Altan-Ovoo Formations were determind by X-ray fluorecence spectrometry at Nagoya University, Japan. Shale protolith of Sugnugur and Altan-Ovoo formations are terrigenous sedimentary rocks. The sandstone and mudstone of Sugnugur and Altan-Ovoo formations are almost similar to petrochemical properties, mostly of greywacke composition. The source of sandstone and mudstone of Altan-Ovoo Formation are the only silicic magmatic rocks, while the rocks of Sugnugur Formation are silicic magmatic rocks, with a mixture of quartz-sedimentary rocks, intermediate to mafic magmatic rocks. Sandstone and mudstone of Altan-Ovoo and Sugnugur formations are deposited in the active continental area by their petrochemical properties. These results support the results of the previous research on the Middle to Upper Paleozoic sedimentary rocks of the previous researcher's Khangai-Khentii orogenic belt. This study carried out funding of “Higher Engineering Education Development (M-JEED) Project” and Nagoya University of Japan.

**Keywords:** Central Asian Orogenic Belt, sandstone, Ulaanbaatar terrane, Asralt Khairkhan terrane



## ТӨВ МОНГОЛ, ТУУЛЫН ИХ ТОХОЙРОЛ ОРЧМЫН ДУНД-ДЭЭД ПАЛЕОЗОЙН ТУНАМАЛ, ХУВИРМАЛ ЧУЛУУЛГИЙН ПЕТРОХИМИ

Содномын Хишигсүрэн\*, Нурамхааны Манчук, Сэр-Одын Цэдэн-Иш,  
Баярмаагийн Батсайхан

Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Геологи, уул уурхайн сургууль, Геологи, гидрогеологийн салбар, Улаанбаатар 14191, Монгол

\*Email: [khishige@must.edu.mn](mailto:khishige@must.edu.mn)

### ХУРААНГУЙ

Туулын их тохойрол нь Төв Монголын Хангай-Хэнтийн ороген тогтолцооны Хэнтийн хэсэгт байрлана. Судалгааны талбайд Асралт хайрханы террейний венлок-доод девоны Сөгнөгөр ба Улаанбаатар террейний пенсилванийн Алтан-Овоо формацын тунамал, хувирмал чулуулгууд зонхилон тархдаг. Тунамал хурдсын эх үүсвэр, тектоник орчны судалгаа нь уг бүс нутгийн геологи, тектоникийн хөгжлийн түүхийг ойлгоход чухал ач холбогдолтой. Судалгаанд Сөгнөгөр формацын 9 ш, Алтан-Овоо формацын 6 ш алевролит, элсэн, чулуу, занар хамрагдав. Гол элементийн геохимийн шинжилгээг Японы Нагоягийн Их сургуулийн Геохимийн лабораторид рентген флюоресценцийн (XRF) аргаар хийлээ. Сөгнөгөр ба Алтан-Овоо формацын занарын протолит нь терриген тунамал чулуулаг байна. Сөгнөгөр ба Алтан-Овоо формацын алевролит, элсэн чулуу петрохимийн шинжээрээ ойролцоо, голдуу грауваккын найрлагатай байна. Алтан-Овоо формацын аргиллит, элсэн чулууны эх үүсвэр дан ганц хүчиллэг магмын чулуулаг, харин Сөгнөгөр формацынх хүчиллэг магмын чулуулгаас гадна багаар кварцын тунамал чулуулаг, дундлаг ба суурилаг магмын чулуулаг бүхий холимог найрлагатай байна. Сөгнөгөр ба Алтан-Овоо формацын чулуулгууд петрохимийн шинжээрээ эх газрын идэвхтэй захад хуримтлагдсан байна. Эдгээр үр дүн нь өмнөх судлаачдын Хангай-Хэнтийн ороген тогтолцооны дунд-дээд палеозойн тунамал чулуулагт хийсэн судалгааны үр дүнг дэмжиж байна. Судалгааны ажил нь Япон-Монголын хамтарсан M-JEED “1000 инженер” инженер технологийн дээд боловсрол төслийн санхүүжилтээр хийгдэв.

**Түлхүүр үг:** Төв Азийн ороген бүс, элсэн чулуу, Улаанбаатар террейн, Асралт хайрхан террейн

### ОРШИЛ

Терриген тунамал чулуулгийн найрлага нь түүний эх үүсвэр, хурдас хуримтлалын тектоник орчин, царцдасын хөгжлийн тухай мэдээллүүдийг агуулж байдаг (Bhatia and Crook, 1983; Pettijohn, et.al., 1972, Herron, 1988; Roser & Korsch, 1986).

Хангай-Хэнтийн ороген тогтолцоо нь олон үе шатны эх газрын ба далайн арлан нум, аккреци, коллизийн бүсүүдээр илэрхийлэгдэх Төв Азийн Ороген Бүсийн төв хэсэгт байрладаг. Судалгааны талбай Улаанбаатарын баруун хэсгээс Төв аймгийн Лүн сум хүртэл Туулын их тохойрол дагуу

Хангай-Хэнтийн ороген тогтолцооны Хэнтийн хэсэгт байрлах ба Асралт хайрхан, Улаанбаатарын аккрецийн шаантгийн террейнүүдэд хамаарагдана (Төмөртоогоо, 2009; Төмөртоогоо, 2012).

Асралт хайрханы террейн баруун хойд талаараа Ерөө голын хагарлаар Хараагийн террейнээс тусгаарлагдах ба доод-дунд палеозойн Мандал группын хувирмал-терриген чулуулаг Гваделупын Хангай, түрүү мезозойн Жанчивлан бүрдлийн гранитоидоор зүсэгдсэн байдаг. Улаанбаатар террейн дунд-дээд палеозойн тунамал, хувирмал, вулканоген-тунамал чулуулгуудаас бүрдэх Хэнтий группын

чулуулгууд түрүү мезозойн Жанчивлан бүрдлийн гранитоидоор зүсэгдсэн байна. Хангай-Хэнтийн дүүрэгт их хэмжээгээр тархсан палеозойн тунамал хувирмал чулуулагт хэсэгчилсэн геологийн судалгаанууд хийгдсээр байдаг боловч Туулын их тохойрол орчмын Асралт хайрхан ба Улаанбаатарын террейний дунд-дээд палеозойн чулуулгууд уг судалгаанд хамрагдаагүй байна. Иймд Туулын их тохойрол орчим хамгийн их талбайд тархсан Мандал группын Сөгнөгөр, Хэнтий группын Алтан-Овоо формацын тунамал, хувирмал чулуулгийн найрлага, эх үүсвэр, хуримтлалын тектоник орчныг тогтоох зорилгоор хийсэн геологийн судалгааны ажлын геохимийн үр дүнг тусган үзүүлээ. Судалгааны ажил нь Япон-Монголын хамтарсан M-JEED “1000 инженер” инженер технологийн дээд боловсрол төслийн санхүүжилтээр хийгдэв.

## ГЕОЛОГИ

Судалгааны талбайд Хараа, Асралт хайрхан, Улаанбаатар террейнд хамаарагдах Хараа, Мандал, Хэнтий группын аккрецийн комплексын чулуулгууд Тарвагатай, Бороогол, Хангай, Жанчивлан бүрдлийн интрузив чулуулгуудаар зүсэгдэн, цэрдийн базальт, палеогений улаан өнгийн хурдас, голын хөндий болон уулс хоорондын хотгорт дөрөвдөгчийн хурдсаар хучигдаж тогтсон байна (Зураг 1) (Дэжидмаа ба Энхжаргал. 2007; Доржсүрэн ба Бүжинлхам, 2004).

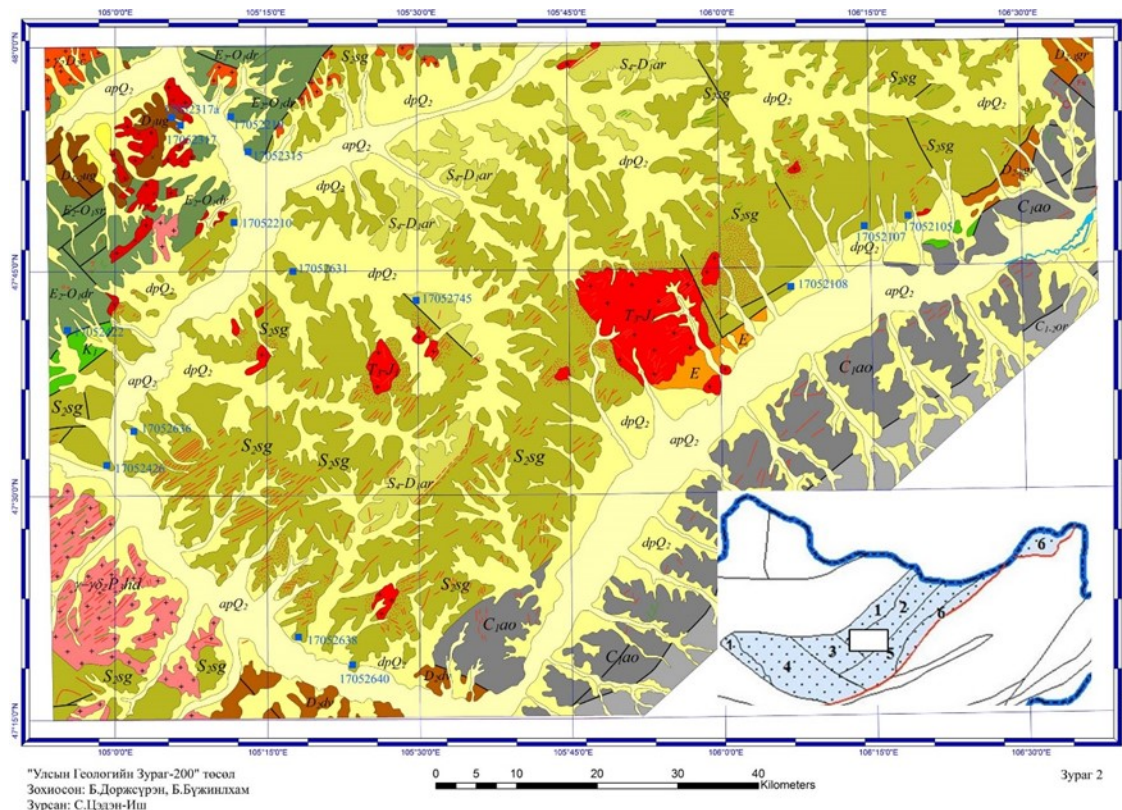
Судалгааны талбайн баруун хойд талд маш багаар Заг-Хараа террейний хэсэг илэрсэн байна. Энд дунд-дээд девоны Өгөөмөр, кембрийн системийн сери 2-оос доод ордовикийн Хараа группын Ширгүү ба Доргонт формацын хурдсууд тархах ба дунд девоны Тарвагатай, Бороогол бүрдлийн габбро, диорит, гранодиорит, гранитын интрузув чулуулгаар зүсэгддэг. Өгөөмөр формацын хүчиллэг-дундлаг, дундлаг эффузив, тэдгээрийн туф, туф элсэн чулуу, туф-алевроэлсэн чулуунаас тогтоно. Хараа группын дээд хэсэгт байрлах Ширгүү формац доод хэсэгтээ хөх саарал, ногоовтор

өнгийн жижиг ширхэгт шохойлог элсэн чулуу, алевролитын үелэл, дээд хэсэгтээ жижиг-дунд ширхэгт ногоон саарал, хөхөвтөр ногоон өнгийн элсэн чулууны үеүд бүхий занаржсан алевролит, элсэн чулуу, занарын үелэлээс тогтоно. Хараа группын доод хэсэгт байрлах Доргонт формац доод хэсэгтээ ногоон, цайвар ногоон өнгийн дунд ширхэгт элсэн чулуу, хар алевролитын үелэл, шохойлог элсэн чулууны үеүдтэй, дээд хэсэгтээ жижиг-дунд ширхэгт ногоон саарал, хөхөвтөр ногоон өнгийн шохойлог элсэн чулууны үеүд бүхий занаржсан алевролит, элсэн чулуу, занарын үелэлээс тогтоно. Хараа группын насны асуудал маргаантай, Камне уг чулуулгийг зүссэн Бороо бүрдлийн гранитын К-Аг-ны насаар бүрдлийн харьцангуй насны дээд хязгаарыг тогтоосон бол А.Дергунов, Ц.Махбадар, Чагнаадорж нар Заг, Уулын-Алтай группын хурдастай чулуулгийн найрлагаар харьцуулан доод палеозой (дунд кембри-доод ордовик) гэж үздэг (Монголын..., 2012). Онон, Цукада нар (Gantumur & Tsukada, 2017) Зүүнхараад Хараа группыг зүссэн гранитын цирконы үнэмлэхүй насыг 561-480 сая жил гэж тогтоосон нь Хараа группын нас Эдикариас ч хөгшин байх боломжтойг харуулна. Асралт хайрханы террейнд Сөгнөгөр формацын чулуулгаас гадна Аргал-Уул формацын чулуулгууд харьцангуй бага тархалттай байна. Аргал-Уул формац литологийн найрлагаараа ногоон саарал, шар ногоон өнгийн, цул нягт, сулавтар занаржсан жижиг дунд ширхэгт вулканомикт ба туфоген элсэн чулуу, ховроор тод бор ногоон өнгийн алевролит, алевроэлсэн чулуунаас тогтох бөгөөд Мандал группын Сөгнөгөр формацыг үл нийцлэгээр хучдаг. Б.Доржсүрэн нар 2004 онд УГЗ-200 төслийн хүрээнд хийгдсэн 1:200000-ны ажлаар Хараа группын хурдсаас ялгаатай гэж үзэн Мандал группын Сөгнөгөр формацаас залуу настай пржидол-доод девоны Аргал-Уул формац ( $S_4-D_{1ar}$ ) болгон ялгасан байна. Уг хурдсаас ямар нэгэн амьтан, ургамлын үлдэгдэл илрээгүй. Асралт хайрханы террейнд дунд-дээд девоны Горхи формацын тунамал-вулканоген чулуулгууд жижиг жижиг гарш үүсгэн ховор тархалттай байна. Горхи формацын хурдас элсэн чулуу,

аргиллит, цахиурлаг занар, радиоляртай хас, базальт, долерит, суурилаг туф, габбро, талстлаг шохойн чулуунаас бүрдэх (Minjin et al., 2006) боловч Улаанбаатарын дүүрэгт цул нягт элсэн чулуу, алевролитын зузаалаг давамгайлдаг. Б.Б.Беззубцев нар занарын үеэс авсан сорьцод дараах үр тоосонцрууд (А.М.Логиновагийн тодорхойлолт) *Leitniletes minutissimus Naum*, *Leioriletes nigratus Naum*, *Acanthotriletes tenuispinosus Naum*, *Hymenoronotriletes mesodevonicus Naum*, *Archaeoperisaccus Menneri Naum*, Шархын хөндийд тархсан Горхийн формацын хасын үе дотроос *Rendaetinosphaera sp*, *Eentactiniidae* зэрэг радиоляр (Ж. Бямба, Д.Чагнаадорж нарын цуглуулга, Б.Б.Назаровын тодорхойлолт 1988) илрүүлэн девонд хамааруулсан (Өнөдэлгэр нар, 1993). Зуун мод орчмын Горхи формацын хурдсын хасын үенээс хожуу силур-хожуу девоны радиоляр, конодонт (Kurihara et al., 2009),

Очирваань уулын зүүн талд хасын үенээс девоны радиоляр (Nakane et al., 2013) тогтоогдсон. Горхи формацын элсэн чулууны үенээс Гачууртын баруун өмнөд хэсэгт 334 сая жил, Налайхын орчим 339 сая жил ба 340 сая жил (Kelty et al., 2008), 394 сая жил (Bussien et al., 2011) - ийн настай цирконыг агуулж байгаа тул хэмхдэст чулуулгийн нас төдийгүй аккрецын нас нь түрүү карбон (визей) эсвэл арай залуу болох боломжтой юм. Энэ бүхнээс Горхи формацын насыг хожуу силур-түрүү карбонд хамааруулах боломжтой байдаг ч УГЗ-200 серийн легендэд тусгагдсан насыг үндэс болгов. Судалгаанд хамрагдсан Мандал группын Сөгнөгөр, Хэнтий группын Алтан-Овоо формацын талаар дор үзүүлэв.

*Мандал группын Сөгнөгөр формац (S<sub>2</sub>-D<sub>1</sub>sg)*  
В.А.Амантовын анх Хараа группын нэрээр ялгасан хувирмал, терриген чулуулгийн хувирсан хэсгийн хурдсыг Г.И.Хубульдигов



**Зураг 1.** Туулын их тохойрлын геологийн зураг. *Формацууд: e<sub>2</sub>-O<sub>1</sub>dr- Доргонт, e<sub>2</sub>-O<sub>1</sub>sr- Ширгүү, D<sub>1-2</sub>ig- Өгөөмөр, S<sub>2</sub>-D<sub>1</sub>sg-Сөгнөгөр, S<sub>4</sub>-D<sub>1</sub>ar- Аргал-Уул, D<sub>2-3</sub>gr-Горхи, C<sub>1</sub>ao-Алтан-Овоо, K<sub>1</sub>-доод цэрдийн вулканогентунамал чулуулаг, E-палеогений улаан өнгийн сэвсгэр хурдас. dpQ<sub>2</sub>- голоцены делюви, пролювийн хурдас, apQ<sub>2</sub>- голоцены аллюви, пролювийн хурдас, Интрузив бүрдлүүд: D<sub>2c</sub>-Тарвагатай, P<sub>2h</sub>-Хангай, T<sub>3</sub>-J<sub>1</sub>-Жанчивлан. Байршлын зурагт үзүүлсэн террейнүүд: 1-Заг-Хараа, 2-Асралт хайрхан, 3-Хархорин, 4-Цэцэрлэг, 5- Улаанбаатар, 6-Онон. (Доржсүрэн ба Бүжиглхам, 2004; Дэжидмаа ба Энхжаргал, 2007)*

Мандал групп болгон ялгасан. Организмын үлдэгдэл бараг олдоогүй тул судлаачид доод палеозой, неопротерозой-доод палеозойд хамааруулж байсан ба академич О.Төмөртоогоо 1:500000-ны Улаанбаатар дүүргийн геоструктурын зурагт венлокын Сөгнөгөр формацад (S<sub>2</sub>sg) хамааруулсан байдаг бол УГЗ-200 зурагт Доржсүрэн нар (Доржсүрэн нар, 2004) венлок-доод девонд ангилсан.

Сөгнөгөр формацын доод мэмбэр бараавтар саарал кварцит, радиолярын үлдэгдэлтэй улаан хас ногоовтор өнгийн алевролитын мэшил бүхий ногоовтор саарал, кварц-хлоритот, хлорит-кварцат занар, ховроор саарал филлитлэг занар, занаржсан жижиг-том ширхэгт полимикт элсэн чулуу, филлит, дээд мэмбэр саарал, ногоон саарал занаржсан янз бүрийн ширхэгт полимикт элсэн чулуу, кварц-хлоритот, хлорит-кварцат занар, метаэффузив, ховроор саарал цул нягт, сулавтар занарлаг, гялтгануурт, төмөржиж марганцжсан кварцитаас тогтоно. Ногоовтор саарал өнгөтэй, занаржсан жигд бус ширхэгт (0.02-0.8) мм алевро-элсэн чулуу\_(Шлиф 17052426, зураг 2a): Муу ялгарсан, элэгдэл муутай, хурц шовх ирмэглэсэн, голдуу 0.1-0.5 хэмжээтэй хэмхдэсүүд чулуулгийн 70-75%-ийг эзлэх ба кварц 30-35%, пелит, серицитээр өнгөц түрэгдсэн плагиоклаз 25-30%, альбитын бичил пертитүүд бүхий пелитжсэн калийн хээрийн жонш 15-20%, хүчиллэг эффузив 10-15%-ийг эзлэнэ. Цементлэгч байдлаар кварц, хээрийн жонш, хлорит, серицитийн нэг чиглэлд сунасан бичил хайрсууд, багаар карбонат, апатитын 0,04-0,1 мм хэмжээтэй мөхлөгүүд тохиолдоно.

*Хэнтий группын Алтан-Овоо формац (C<sub>1a0</sub>)*  
В.А.Амантов 1961 онд Алтан-Овоо формацыг анх ялгасан. Алтан-Овоо формац ховроор хасын үе агуулсан хар, хар саарал, хар хөхөвтөр аргиллит, алевролит, элсэн чулуу, занараас тогтох чулуулаг судалгааны талбайд Туулын их тохойрлын өмнөд хэсгээр тархсан байна.

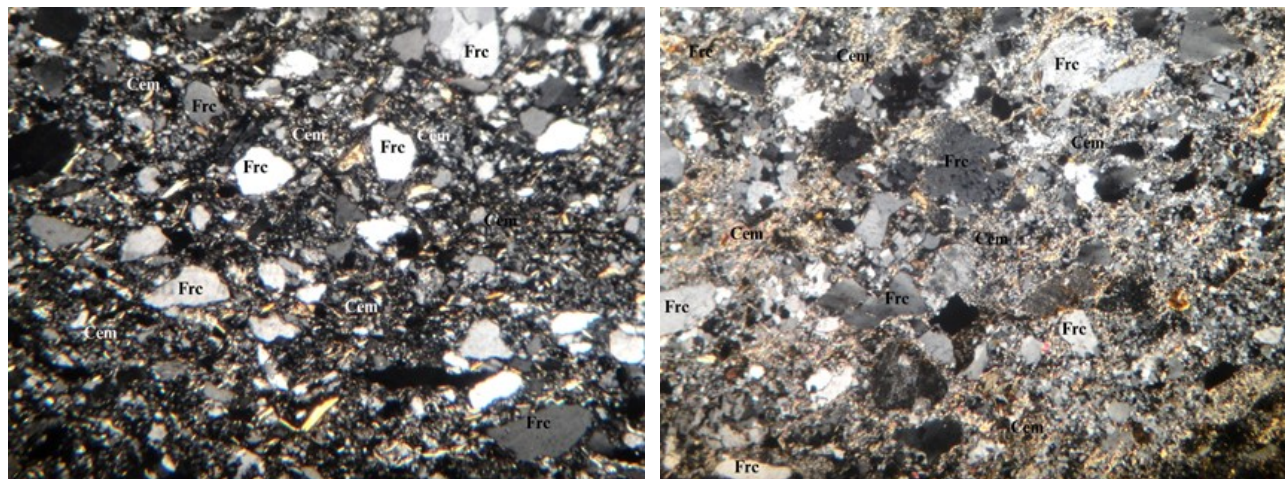
Алевро-элсэн чулууны үе болон аргиллитаас доод карбоны визейн хөвд биетэн: *Fenestella invulgata* Shishova, *Lyrocladia mariae*

*Shishova.*, *Sulcoretepora mergensis* Nekhoroshev (Донаковагийн олдвор, 1961), элсэн чулууны үенээс *Spirifer dublicicostus* Mart sp., мөр хөлтний үлдэгдэл (Попекогийн тодорхойлолт, 1961), аргиллитын үенээс ургамал: *ferns, filicinae Asterocalamitis sp., Zaleskyodendron sp.*, (Радченкогийн тодорхойлолт) үлдэгдэл илрүүлэн насыг нь тогтоосон байна (Өнөдэлгэр нар, 1993; Minjin et al., 2006.). Энэ формацын элсэн чулуунаас 404 сая жилийн циркон (Bussein et al., 2011), 349 сая жилийн циркон (Keltu et al., 2008) илрүүлсэн доод карбон түүнээс залуу байх боломжтойг үзүүлдэг. Барын амны орчим Сөгнөгөр формацын чулуулаг дээр ул суурийн конгломератаар байрлах бага зузаантай конгломерат, гравелитын үе, мэшил бүхий элсэн чулуу, конгломерат, гравелитын үенээс *Neospirifer derjawini* (Janischewsky) брахиопод (Г.А.Афанасьевагийн тодорхойлолт)-ын үлдэгдэл илрүүлэн визейн үеийн усан санд хуримтлагдсаныг тогтоосон (Буянжаргал, 2009). Наранцэцэг нар (2015) Барын амны уг терриген зузаалгийн хэмжээнд өргөн тархсан хөх саарал элсэн чулууны детритал цирконд 1.3±4.9 тэрбум жилээс 262±4 сая жилийн U-Pb-ны изотопын нас тогтоож, 359±6 сая жилээс 313±4 сая жилийн нас зонхилж (60% <) байгааг үндэслэн хурдас хуримтлалын насыг Миссисипийн сүүлч үе гэж үзсэн нь фаунаар тогтоосон настай дүйцдэг гэжээ. Макото Такеючи нар Улаанбаатарын дүүрэгт нарийвчилсан зураглал, структурын судалгаа хийж уг формацын чулуулгийг Хэнтий группд ялгаж байгаа Оргиоч-Уул формацтай нэгтгэн Алтан-Овоо ба Оргиоч-Уул формац гэж нэрлэсэн (Takeuchi et al., 2012; Takeuchi et al., 2013).

Судалгааны талбайд Алтан-Овоо формацын хөхөвтөр саарал занаржсан алевролит, ногоовтор саарал өнгийн дунд-жижиг ширхэгт элсэн чулууны үндсэн гаршууд тархсан байх ба эдгээр нь кварцын хялгасан судлуудаар зүсэгдсэн байна. Ногоовтор саарал өнгийн элсэн чулуунд петрографийн бичиглэл хийлгэж үр дүнг үзүүлэв. Петрографийн бичиглэлээр дунд ширхэгт элсэн чулуу (шлиф 17052101, Зураг 2б) 60-65%-ийн хэмхдэс материал, 30-35%-ийн

цементлэгч материалаас тогтоно. Хэмхдэст материалуудын хэмжээ жигд бус ихэнхдээ 0.2-0.5 мм, ховроор 0.5-0.6 мм, ихэвчлэн өнцөглөсөн, ялгарал, мөлгөржилт муутай. Кварц (0.2-0.6 мм) 35-40%, пелитээр хэсэгчлэн түрэгдсэн плагиоклаз 25-30%, альбитын микропертитүүд бүхий пелитжсэн

калийн хээрийн жонш 20-25%, хагас мөлгөржсөн, зууван хэлбэртэй, заримдаа хлоритоор хэсэгчлэн хувирсан амфибол 5%-ийг эзлэнэ. Цементлэгч хэсэг кварц, хээрийн жонш, хлоритоор түрэгдсэн нэг зүгт чиглэсэн биотит, серицитийн бичил хайрсуудаас тогтох ба серицит давамгайлна.



**Зураг 2.** Чулуулгийн шлифийн зураг. а) Сөгнөгөр формацын алевро-элсэн чулуу (17052426). б) Алтан-Овоо формацын элсэн чулуу (17052101). Frc-эрдсийн хэмхдэсүүд, Frlt-чулуулгийн хэмхдэсүүд, Cem-цементлэгч хэсэг. Хос никольтой. Өсгөлт 50х.

## СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА, АРГАЧЛАЛ

Судалгаанд Улаанбаатарын баруун хэсгээс Төв аймгийн Лүн сум хүртэл Туулын их тохойрол дагуу тархсан палеозойн тунамал чулуулгаас 15, хувирмал чулуулгаас 4 дээж авч Япон улсын Нагоягийн Их Сургуулийн геохимийн лабораторид рентген-флюоресценцийн аргаар гол элементүүд болон Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb, Th зэрэг сарнимал элементүүдийн шинжилгээ хийв. Шатаалтын алдагдал болон дээжийн шинжилгээ хийх шилэн бэлдэц ШУТИС-Нагояа их сургуулийн хамтарсан хээрийн судалгааны лабораторид хийв. Шилэн бэлдэцийг 6 г борын ангидридад 1.5 г нунтагласан дээж холих харьцаатайгаар бэлтгэлээ. Петрографийн судалгааг Геологийн судалгааны төвийн чулуулаг, эрдэс судлалын лабораторид хийлгэв.

## СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

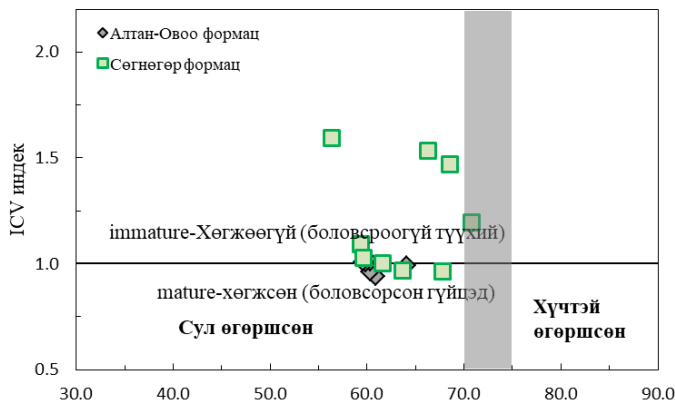
Судалгааны талбайд тархалттай Сөгнөгөр формацын 9, Алтан-Овоо формацын 6, нийт 15 тунамал, хувирмал чулуулгийн петрохимийн шинжилгээний дүнг (Хүснэгт 1) боловсруулан хувирмал чулуулгийн протолит, элсэн чулууны төрөл, хурдас хуримтлалын орчин, тектоник нөхцөлийг тогтоов.

Химийн шинжилгээний дүнгээс үзвэл судалгаанд хамрагдсан тунамал, хувирмал чулуулгууд сул өгөршсөн байна (Зураг 3).

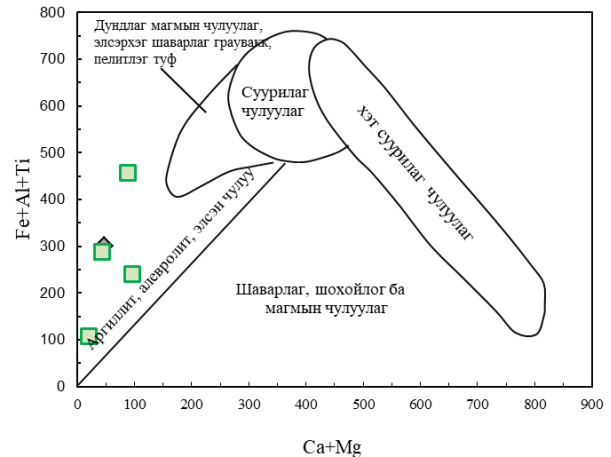
Хувирмал чулуулгийн химийн шинж дээр нь үндэслэн пара ба орто чулуулгийг ялгахад А.Нематовын диаграммыг, хувирмал чулуулгийн анхдагч эх үүсвэрийн найрлагыг тодорхойлоход Б.Маун ба Х. Де ля Рошийн диаграммыг хэрэглэдэг (Сиротин и др., 2005). Алтан-Овоо, Сөгнөгөр формацын цөөн тооны занарын эх үүсвэр нь аргиллит, алевролит, элсэн чулуу зэрэг терриген тунамал чулуулгийн хувирлаар үүссэн байна (Зураг 4, 5).

Хүснэгт 1

Формац	Дээж №	Ислүүд, жингийн %	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ΣFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Σ
Алтан-Овоо	17052101	элсэн чулуу	66.92	0.44	15.30	3.18	2.24	0.89	5.20	2.37	0.05	0.12	1.64	98.35
	17052102	элсэн чулуу	74.31	0.47	11.83	2.39	2.17	0.68	3.99	1.62	0.07	0.12	1.78	99.42
	17052102a	аргиллит	64.28	0.67	16.51	4.60	1.81	1.78	3.36	4.07	0.07	0.18	2.66	99.99
	17052103	элсэн чулуу	67.74	0.49	14.60	3.73	2.40	0.83	4.23	2.98	0.09	0.11	1.96	99.15
	17052744	аргиллит	65.81	0.45	15.56	3.61	2.61	1.07	4.95	2.86	0.07	0.15	0.92	98.06
	17052641	занар	71.43	0.52	12.67	2.86	1.46	0.77	6.06	1.05	0.08	0.16	1.36	98.42
Сөгнөгөр	17052107	элсэн чулуу	64.69	0.64	16.47	4.71	2.02	1.19	4.50	2.90	0.05	0.17	2.60	99.93
	17052108	элсэн чулуу	66.43	0.56	14.68	4.16	3.01	1.22	4.61	2.45	0.08	0.18	2.77	100.14
	17052426	алевро-элсэн чулуу	70.23	0.70	10.89	6.51	1.65	3.80	2.55	0.80	0.03	0.16	2.77	100.10
	17052631	элсэн чулуу	77.71	0.56	7.71	3.64	2.66	2.06	2.46	0.86	0.06	0.16	2.05	99.94
	17052636	элсэн чулуу	71.60	0.77	11.71	5.63	0.62	2.75	3.35	0.88	0.03	0.18	2.50	100.00
	17052640	аргиллит	69.29	0.53	13.89	3.19	2.97	1.02	3.99	2.47	0.11	0.19	2.22	99.87
	17052105	занар	73.19	0.42	11.99	3.32	1.24	0.77	4.11	2.15	0.06	0.10	2.18	99.52
	17052320	занар	76.48	0.65	8.30	5.20	1.58	2.64	1.97	0.67	0.04	0.16	2.28	99.97
	17052638	занар	60.55	0.83	18.49	5.69	1.28	2.48	3.41	4.09	0.07	0.22	2.86	99.98



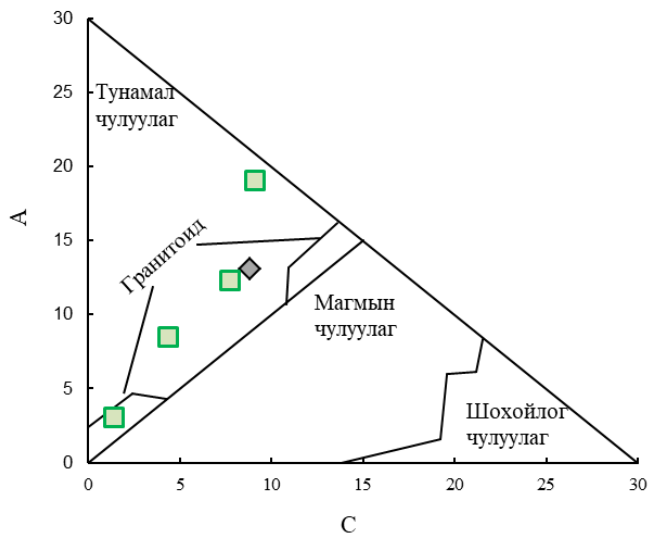
Зураг 3. Химийн өгөршлийн (CIA) ба найрлагын өөрчлөлтийн индекс(ICV)-ийн харьцааны диаграмм (Cox et al., 1995). Зургийн таних тэмдгүүд дараагийн зургуудад адил хэрэглэгдэнэ.



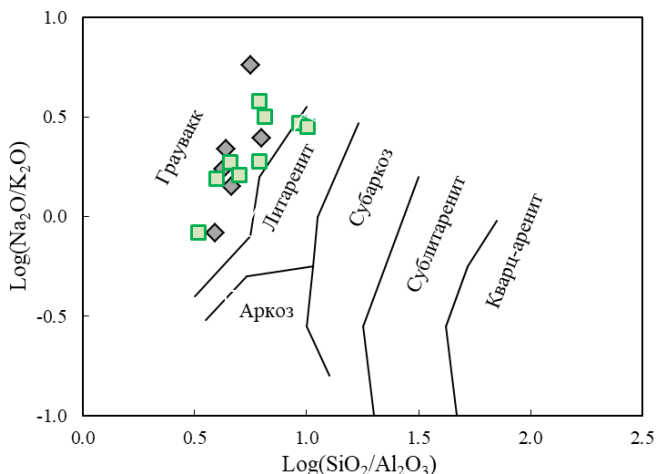
Зураг 4. Хувирмал чулуулгийн анхдагч эх үүсвэрийг тогтоох Маун ба Х.Де Ля Рошийн диаграмм (Сиротин и др., 2005)

Алтан овоо, Сөгнөгөр формацын аргиллит, элсэн чулуу, паратунамал чулуулгууд нь нийтдээ гол элементүүдийн агуулгаар грауваккын дундаж агуулгатай ойролцоо байна (Pettijohn, et.al., 1972). Судалгаанд хамрагдсан чулуулгууд элсэн чулууны ангиллын  $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}))$  диаграммд грауваккын найрлагатай чулуулгийн талбайд бууж байна (Зураг 6). Харин ижил диаграммд Алтан-Овоо формацын чулуулгууд грауваккын, Сөгнөгөр

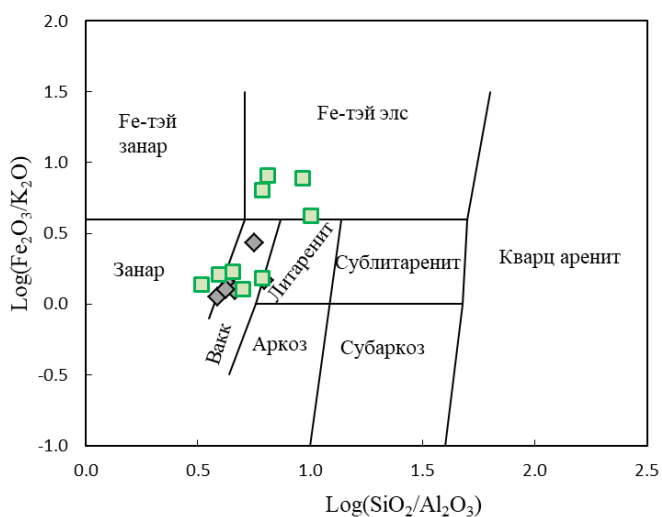
формацын чулуулгууд граувакк ба төмөртэй элсний талбайн аль алинд хамаарагдана (Зураг 7). Граувакк аркозын элсэн чулуутай харьцуулахад калийн ислийн агуулгаас натрийн ислийн агуулга ихтэй байдгаараа ялгагдах бөгөөд судалгаанд хамрагдсан чулуулгууд грауваккын найрлагатай байна (Зураг 8). Тунамал чулуулгийн натрийн модуль ( $\text{NM}=\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ) химийн өгөршлийн явцад плагиоклазын задрах үйл явцыг илэрхийлэх



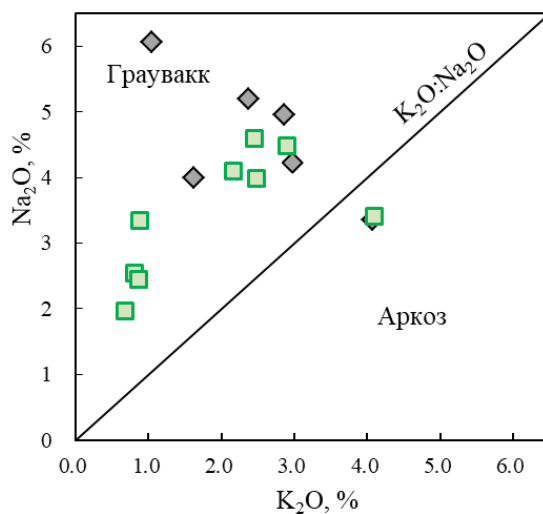
**Зураг 5.** Хувирмал чулуулгийн анхдагч эх үүсвэрийг тогтоох А.Нематовын диаграмм (Сиротин и др., 2005)



**Зураг 6.** Элсэн чулууны ангиллын  $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ - $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  диаграмм (Pettijohn et al., 1972). Чулуулгийн хилийг Херроны заагаар зурав (Herron, 1988)



**Зураг 7.** Элсэн чулуу, занарын ангилалын  $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ - $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  диаграмм, (Herron, 1988)



**Зураг 8.** Аркоз ба грауваккыг ялгах диаграмм (Pettijohn et al., 1972). Таних тэмдэг зураг 3-тай адил

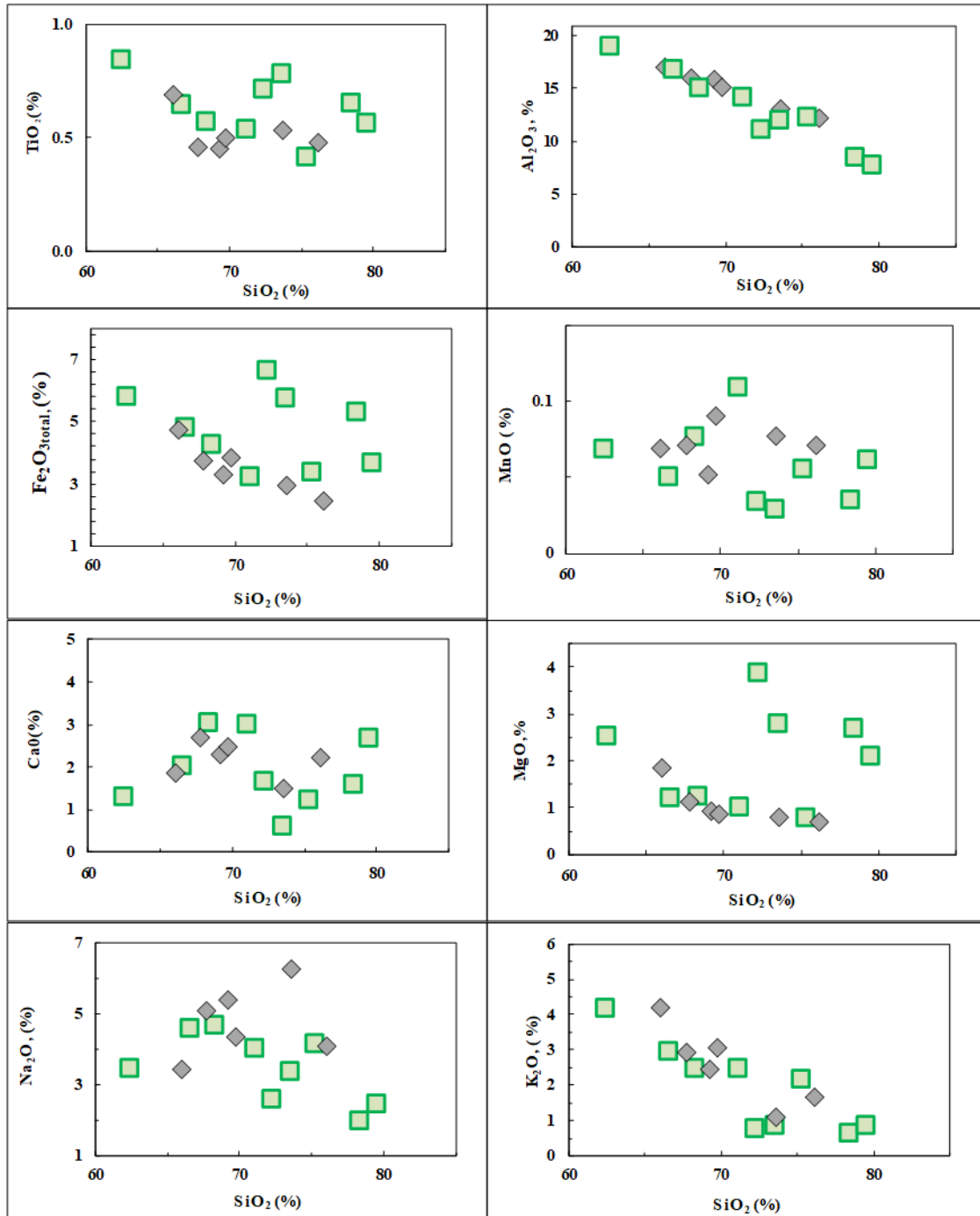
ба грауваккад хамгийн их утгатай буюу 0.2-оос их байдаг. Судалгаанд хамрагдсан дээжүүдийн НМ 0.23-0.47 хэлбэлзэж байгаа нь грауваккад элсэн чулууг илтгэнэ.

Алтан-Овоо формацын элсэн чулууны фемик шинжийн модуль ( $\text{ФМ} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ ) 2.45-3.85, Сөгнөгөр формацынх 3.28-6.74 байна. Грауваккууд өнгөт эрдэс их хэмжээгээр агуулдаг тул ийнхүү ФМ шинжээр хамгийн их хэлбэлзэлтэйгээр хазайсан утгыг үзүүлдэг.

Гол ислүүдийн Харкерийн диаграммд Сөгнөгөр, Алтан-Овоо формацын тунамал чулуулгуудын цахиурын ислийн агуулга нэмэгдэхэд хөнгөн цагаан, төмөр, магни, калийн ислийн агуулга буурах адилавар хандлага үзүүлж байна (Зураг 9). Сөгнөгөр формацын суурилаг ба дундлаг эх үүсвэр бүхий чулуулагт титан, төмөр, магнийн агуулга баг зэрэг илүү байна.

Тунамал чулуулгийн Fe/Mn харьцаа нь Сөгнөгөр формацын чулуулаг гүехэн усны болон гүехэн усны эрэг орчмын, Алтан овоо

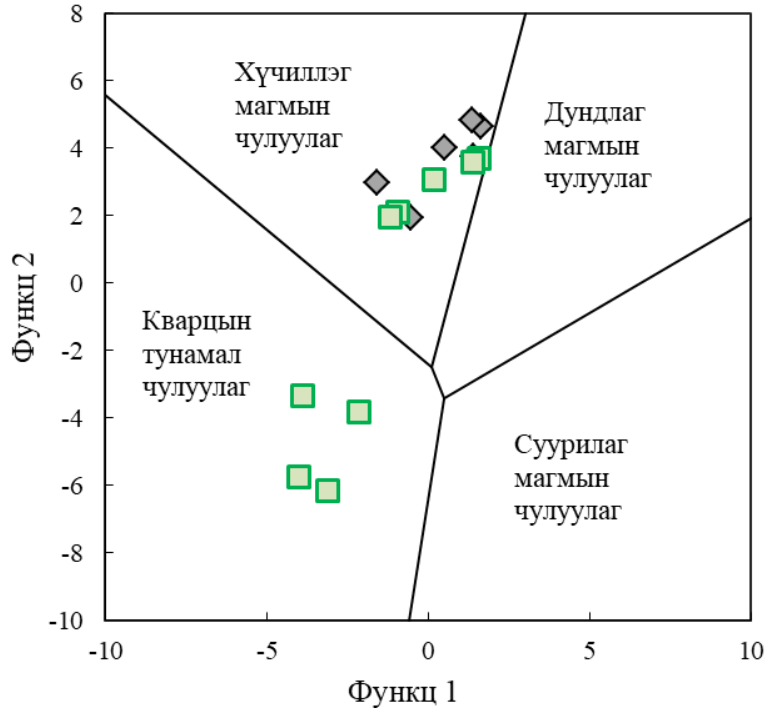




Зураг 9. Сөгнөгөр ба Алтан-Овоо формацын чулуулгуудын Харкерийн диаграмм (Harker, 1909)

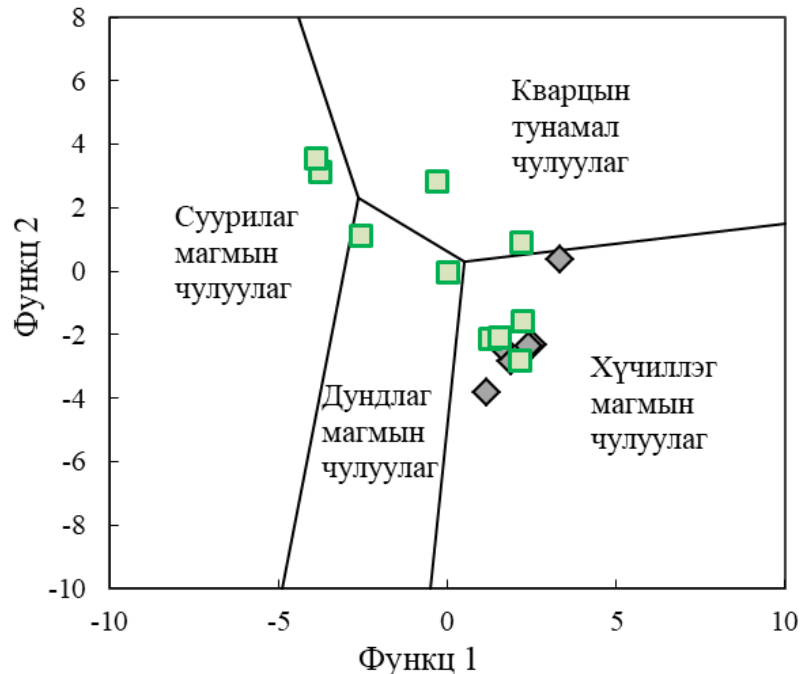
формац гүехэн усны нөхцөлд хуримтлагдсаныг илэрхийлнэ. Гол элементүүдийн агуулгаар (Зураг 10) болон гол элементүүдийн харьцаагаар (Зураг 11) функц 1, функц 2-г бодож элсэн чулуу, шаварлаг чулуулгийн эх үүсвэрийг

харуулсан диаграммуудад (Rosser & Korsch, 1988) Алтан-Овоо формацын чулуулгууд хүчиллэг магмын чулуулгийн, харин Сөгнөгөр формацын чулуулгууд кварцын тунамал ба хүчиллэг магмын чулуулгийн холимог эх үүсвэр бүхий чулуулгийн



**Зураг 10.** Гол элементүүдийн агуулгаар элсэн чулуу, шаварлаг чулуулгийн эх үүсвэрийг харуулсан диаграмм, (Roser & Korsch, 1988).

$$\begin{aligned} \text{Функц 1} &= -1.773\text{TiO}_2 + 0.607\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.76\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})} - 1.5\text{MgO} + 0.616\text{CaO} + 0.509\text{Na}_2\text{O} - 1.224\text{K}_2\text{O} - 9.09 \\ \text{Функц 2} &= 0.445\text{TiO}_2 + 0.07\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.25\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})} - 1.142\text{MgO} + 0.438\text{CaO} + 1.475\text{Na}_2\text{O} + 1.426\text{K}_2\text{O} - 6.861 \end{aligned}$$

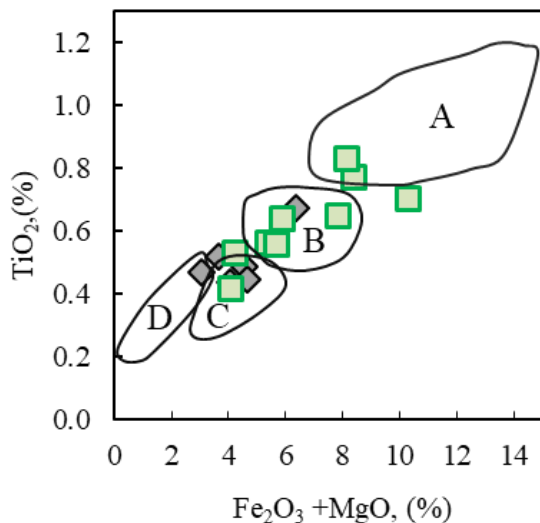


**Зураг 11.** Гол элементүүдийн харьцаагаар элсэн чулуу, шаварлаг чулуулгийн эх үүсвэрийг харуулсан диаграмм, (Roser & Korsch, 1988).

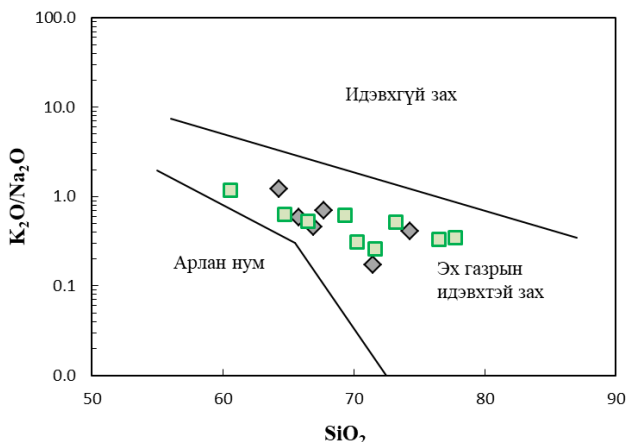
$$\begin{aligned} \text{Функц 1} &= 30.638\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 7.329\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382 \\ \text{Функц 2} &= 56.500\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{total})}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89 \end{aligned}$$

хуримтлалаас үүссэн байх боломжтойг үзүүлнэ.

Бхатын  $Fe_2O_3+MgO$  агуулгыг  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3/SiO_2$ -ын агуулгатай харьцуулсан диаграммд судалгаанд хамрагдсан чулуулгууд нь эх газрын нум (B), эх газрын идэвхтэй зах (C) гэж тэмдэглэсэн талбайд болон түүний



**Зураг 12.** Элсэн чулууны хуримтлалын тектоник орчны диаграмм (Bhatia, 1983). Талбайнууд: А-Далайн арлан нум, В-эх газрын нум, С-эх газрын идэвхтэй зах, D-эх газрын идэвхгүй зах



**Зураг 13.** Терриген чулуулгийн тектоник нөхцөлийн  $SiO_2$ -Log( $K_2O/Na_2O$ ) диаграмм (Roser & Korsch, 1988)

ойролцоо бууж байгаа нь эх газрын идэвхтэй захын далай тэнгисийн гүехэн устай эрэг орчмын элсэрхэг хурдасны хуримтлалаас үүссэн байна (Зураг 12). Терриген чулуулгийн тектоник нөхцөлийн  $SiO_2$ -Log

( $K_2O/Na_2O$ ) диаграмм (Roser & Korsch, 1988) -д судалгаанд хамрагдсан чулуулгууд эх газрын идэвхтэй захын нөхцөлд хуримтлагдсан байж болохыг үзүүлнэ (Зураг 13). Энэ нь Бхатын диаграммыг дэмжиж байна.

## ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ БА ДҮГНЭЛТ

Хангай-Хэнтийн ороген тогтолцооны Асралт хайрхан ба Улаанбаатарын террейнийг офиолитын бүрдлүүд, андезитийн туф лаав силур-девоны конодонт, девоны радиоляр бүхий улаан хаснууд, полинез төрлийн базальт, девоны криноидын үлдвэртэй шохойн чулуу зэрэг далайн царцдас ба далайн ёроолын гүн усны хурдас, арлан нум, симаунтын гаралтай олон тооны тохоос, шаантаг структурууд тогтоогдсоныг үндэслэн аккрецийн бүрдэлд хамааруулан үзэх болсон (Minjin et al., 2006; Tsukada et al., 2006; 2007; Kurihara et al., 2006; 2009; Доржсүрэн, 2012; Төмөртогоо, 2009; 2012). Сузуки нар Улаанбаатар дүүргийн Горхи, Алтан-Овоо, Оргиоч-Уул формацуудын элсэн чулуунуудын текстур, мөхлөгийн найрлага, чулуулгийн хэмхдэс бага агуулсан байдал зэргээрээ ялгарахгүй байгаа нь нэг эх үүсвэртэй чулуулгаас үүссэн, өөрөөр хэлбэл далайн плитийн шургалтаар үүссэн, галт уулын материалууд чулуулгийн хэмхдэс байдлаар орсон гэж үздэг (Suzuki et al., 2012).

Хангай-Хэнтийн ороген тогтолцооны Хэнтийн хэсэг дэх Улаанбаатар террейний хурдас хуримтлал Хангайн хэсэг дэх Цэцэрлэгийн террейнтэй дүйцдэг гэж үзсээр ирсэн. Цэцэрлэгийн террейний девоны Эрдэнэцогт, карбоны Цэцэрлэг, Жаргалант формацын элсэн чулууны геохимийн судалгааны үр дүн алевролит, элсэн чулуулгийн эх үүсвэр адил, эх газрын идэвхтэй захын хурдас хуримтлалын орчинг дэмжсэн байдаг (Purevjav and Roser, 2011; Purevjav et al., 2013). Батдэлгэр нар(ын Цэцэрлэг террейний Эрдэнэцогт формацын элсэн чулууны геохимийн судалгааны үр дүн ч мөн тус формацын хурдас эх газрын идэвхтэй захын нөхцөлд хуримтлагдсаныг үзүүлдэг (Батдэлгэр нар, 2015).

Бидний судалгаагаар Асралт хайрханы террейний венлок-доод девоны Сөгнөгөр ба Улаанбаатар террейний пенсилванийн Алтан-Овоо формацын тунамал чулуулгууд петрохимийн шинж, эх үүсвэр ба найрлагаараа ойролцоо байна. Сөгнөгөр формацын тунамал чулуулгууд нь петрохимийн шинжээрээ граувакк ба төмөртэй элсэн чулууны талбайд голдуу бууж байгаа нь холимог найрлагатайг үзүүлэх ба протолит нь кварцын тунамал ба хүчиллэг магмын чулуулаг болно. Алтан-Овоо формацын тунамал чулуулаг петрохимийн шинжээрээ грауваккын найрлагатай, хувирмал чулуулгийн протолит нь хүчиллэг магмын чулуулаг байна. Сөгнөгөр ба Алтан-Овоо формацын аргиллит, алевролит, элсэн чулуу нь петрохимийн шинжээрээ эх газрын идэвхтэй захын ойролцоо хуримтлагдсан алевритлаг ба элсэрхэг хурдаснаас үүссэн байх боломжтой байна. Энэ нь Монгол Агнуурын далайн хаагдалтын үед эх газрын нум буюу идэвхтэй захад үүссэн тунамал ба хүчиллэг магмын чулуулгийн өгөршлийн бүтээгдэхүүн зонхилсон хуримтлалаас үүссэн байна. Венлок-доод девоны Сөгнөгөр формацын хурдсыг хуримтлагдаж байх үед эх үүсвэрт нь кварцын тунамал ба хүчиллэг магмын чулуулгаас гадна бага хэмжээгээр дундлаг болон суурилаг магмын чулуулгийн эх үүсвэр оролцсон байгаа эх газрын идэвхтэй захад үүссэн дундлаг ба суурилаг чулуулагийн өгөршлийн бүтээгдэхүүн харьцангуй бага оролцсоныг харуулна. Сөгнөгөр ба Алтан-Овоо формацын хурдас хуримтлалын геохимийн шинжилгээний эдгээр үр дүн нь дээрх судлаачдын судалгааны үр дүнг дэмжиж байна.

## ТАЛАРХАЛ

Геохимийн шинжилгээ хийх боломж олгосон Японы Нагоягийн Их Сургуулийн Хүрээлэх Орчны Судалгааны Дээд Сургуулийн доктор, профессор К.Ямамото (Koshi Yamamoto), доктор, дэд профессор К.Цукада (Kazuhiro Tsukada), төслийн удирдагч доктор О.Мөнхцэцэг болон өгүүллийн чанарыг сайжруулахад тусласан сэтгүүлийн редакцын

зөвлөлийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- Батдэлгэр, Д., Хишигсүрэн, С., Мягмаржав, Б., Ганбаяр, Б. 2015. Доод-дунд девоны Эрдэнэцогт формацын элсэн чулууны петрографи, геохими, геодинамик орчин. Хайгуулчин No54, 63-76.
- Буянжаргал, Н. 2009. Барын аманд илэрсэн доод карбоны хурдас. ГЭБХ-ийн Эрдэм шинжилгээний бүтээл. №19. 185-187.
- Геология Монгольской Народной Республики. 1973. Гл. Ред. Н.А.Маринов. Том I. Стратиграфия. Москва. Недра. стр.336-355
- Доржсүрэн, Б., Бүжинлхам, Б. 2004. Туул голын их тохойрол орчмын дүүрэгт явуулсан 1:200,000-ны масштабтай эрэл-геологийн зураглалын ажлын үр дүнгийн тайлан
- Доржсүрэн, Б. 2012. Хангай-Хэнтийн бүс дэх карбон-пермийн аккрецын бүрдэл. Диссертаци. 118 х.
- Дэжидмаа, Г. ба Энхжаргал, М. 2007. “УГЗ-200 Төв Монгол II” төслөөр 2005-2007 онуудад гүйцэтгэсэн 1:200000-ны иж бүрдэл зураглал Монголын геологи ба ашигт малтмал. 2012. I боть. Стратиграфи. 547х.
- Өнөдэлгэр Т. Ба Банзрагч Б. 1993. Улаанбаатар хот орчимд 1990-1992 онуудад явуулсан гидрогеологийн иж бүрдэл (аэрофотогеологи, геофизик, геохими) эрлийн ажлын тайлан. УГФ. №4718.
- Сиротин В.И., Войцеховский, Г.В., Бондаренко, С.В. 2005. Протолиты позднеархейских гнейсов Кольско-Беломорского нерасчлененного комплекса северо-восточной части Балтийского щита, участок Губа Печенга. Минералогия, петрография и петрология. с.113-123
- Төмөртгоо, О. 2009. Монгол Алтай, Хангай-Хэнтийн ороген тогтолцоонууд ба Монгол-Агнуурын палеодалайн тухай асуудал. ШУА-ийн ГЭБХ. Эрдэм шинжилгээний бүтээл. УБ. №18. 9-29.

- Төмөртоогоо, О. 2012. Монгол орны ороген мужуудын тектоник мужлалт. Хайгуулчин. No46. 20-35.
- Bhatia, M.R. 1983. Tectonics and Geochemical Composition of Sandstone. *The Journal of Geology*, 91, 611-627.
- Bhatia, M.R., Crook, K.W. 1986. Trace elements characteristics of greywacke and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 92. 181-193.
- Bussien, D., Gombojav, N., Winkler, W., Quadt, A. 2011. The Mongol-Okhotsk Belt in Mongolia-An appraisal of the geodynamic development by the study of sandstone provenance and detrital zircons. *Tectonophysics*, 510, 132-150.
- Cox R., Lowe, D. R., and Cullers R.L., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition of evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States, *Geochimica et Cosmochimica Acta Journal*. 59, 2919-2940.
- Gantumur O., Tsukada, K. 2017. Late Paleozoic low-angle southward-dipping thrust in the Zuunharaa area, Mongolia: tectonic implications for the geological structures in the Sayan-Baikal and Hangai-Daur belts. *International Journal of Earth Sciences*. Volume 106, Issue 7, pp 2549–2573
- Harker A. 1909. The natural history of igneous rocks. Methuen, London.
- Herron, M.M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data: *Journal of Sedimentary Petrology*, 58, 820–829.
- Hugh R. Rollinson. 1993. Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation. 352 p.
- Kelty, T., Yin, A., Dash, B., Gehrels, G., Ribeiro, A. 2008. Detrital-zircon geochronology of Paleozoic sedimentary rocks in the Hangay-Hentey basin, north-central Mongolia: Implications for the tectonic evolution of the Mongol Okhotsk Ocean in central Asia. *Tectonophysics*, 451, 290-311.
- Kurihara T., Tsukada K., Otoh S., Kashiwagi K., Minjin Ch., Sersmaa G., Dorjsuren B., Bujinkham B. 2006. Middle Paleozoic radiolarians from the Gorkhi formation, Central Mongolia. Second International Workshop and Field Excursions for IGCPProject 480. Structural and Tectonic Correlation across the Central Asia Orogenic Collage: Implications for Continental Growth and Intracontinental deformation. Symposium July 27-August 7, Ulaanbaatar, Mongolia, p. 67.
- Minjin, Ch., Tomurtogoo, O., Dorjsuren B., 2006, Devonian–Carboniferous accretionary complex of the Ulaanbaatar terrane. Second International Workshop and Field Excursions for IGCPProject 480. Structural and Tectonic Correlation across the Central Asia Orogenic Collage: Implications for Continental Growth and Intracontinental deformation. Symposium July 27-August 7, UB, Mongolia, 99-106
- Nakane, Y., Kurihara, T., Bakhat, N., Manchuk, N., Takeuchi, M., Tsukada K., Sersmaa, G., and Khishigsuren, S. 2012. Geological division of the rocks at southeast of Ulaanbaatar (Gachuurt-Nalaikh), central Mongolia. *Bulletin of the Nagoya University Museum*. No.28, p. 19-26.
- Pettijohn, F.J., Rotter, P.E., Siever, R. 1972. Sand and sandstones: New York, Springer Verlag. 553 p.
- Purevjav, N., Ukhnaa G., Narangoo P. and Dhiman K. R. 2013. Stream sediment geochemistry of Erdenetsogt, Tsetserleg and Jargalant formations in the Sudut area, Uvurkhangai province, Hangai subbasin, Central Mongolia. *Mongolian geoscientist*, 39, 61-66.
- Purevjav, N., Roser, B. 2011. Preliminary geochemical characterization of Tsetserleg terrane sedimentary rocks in the western Hangay basin, Mongolia. *International Conference on Knowledge Based Industry*. ICKI, 473-477.
- Roser, B.P., Korsch, R.J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology* 67, 119-139.
- Suzuki, T., Nakane, Y., Bakhat, N., Takeuchi, M., Tsukada, K. Sersmaa, G., Khishigsuren,

- S., Manchuk, N.. 2012. Description of sandstones in the Ulaanbaatar area, Mongolia. Bulletin of the Nagoya University Museum. No.28, 27-38.
- Takeuchi, M., Tsukada, K, Suzuki, T., Nakane, Y., Sersmaa, G., Manchuk, N., Kondo, T., Matsuzawa, N., Bakhat, N., Khishigsuren, S., Onon, G., Katsurada, Y., Kawahara, K., Hashimoto, M., Yamasaki, Sh., Matsumoto, A., Oyu-Erdene, B., Bulgantsengel, M., Kundy, S. , Enkhchimeg, L., Ganzorig, R., Myagmarsuren, G., Jamiyandagva, O.. 2012. Stratigraphy and geological structure of the Paleozoic system around Ulaanbaatar, Mongolia. Bulletin of the Nagoya University Museum. N.28, p. 1-18.
- Takeuchi, M., Tsukada, K, Suzuki, T., Nakane, Y., Sersmaa, G., Manchuk, N., Kondo, T., Matsuzawa, N., Bakhat, N., Khishigsuren, S., Onon, G., Katsurada, Y., Hashimoto, M., Yamasaki, Sh., Matsumoto, A., Oyu-Erdene, B., Bulgantsengel, M., Kundy, S. , Enkhchimeg, L., Ganzorig, R., Myagmarsuren, G., Jamiyandagva, O., Molomjamts M. 2013. Re-examination of stratigraphy and geological structure of the Paleozoic system in the Ulaanbaatar area, Mongolia. Хайгуулчин. No 48. х.121-126
- Tsukada K., Kurihara T., Niwa, K., Otoh Sh., Hikichi, Kashiwagi, K., Kozuka. T, Minjin, Ch., Dorjsuren B., Sersmaa, G., Bujinlkham, B. 2006. Geochemical feature of basalt from the Gorkhi formation, Khangai-Khentey belt, central Mongolia. Abstracts and Excursion Guidebook for the IGCP 480. Ulaanbaatar. p. 82-83.
- Tsukada, K., Kurihara, T., Niwa, K., Minjin Ch., Dorjsuren B., Hikichi, G., Otoh, Sh., Kashiwagi, K., Niwa, M., Tokiwa, T., Sersmaa G., Bujinlkham B., Manchuk N. 2007. A Paleozoic ocean between the Angaran and North China Cratons. – Mongolian Geoscientist, 31. 12-13.