

## СУДАЛГААНЫ ӨГҮҮЛЭЛ

### ӨМНӨД МОНГОЛЫН ДУНД ЮРЫН УУР АМЬСГАЛ, ГЕОДИНАМИКИЙН НӨХЦӨЛ. I ХЭСЭГ: НАРИЙНСУХАЙТ ОРДЫН ЭЛСЭН ЧУЛУУНЫ ГЕОХИМИЙН СУДАЛГАА

Н.Байгалмаа<sup>1</sup> | Д.Эрдэнэчимэг<sup>2</sup> | Б.Эрдэнэцогт<sup>1\*</sup> | Л.Жаргал<sup>1</sup> | Т.Огата<sup>3</sup> | Ж.Эрдэнэбаяр<sup>4</sup> |  
А.Баатархуяг<sup>5</sup> | Д.Нансалмаа<sup>1</sup> | Б.Билгүүн<sup>6</sup>

<sup>1</sup> МУИС, ШУС, Геологи, Геофизикийн тэнхим, Улаанбаатар, Монгол улс

<sup>2</sup> ШУА, Геологийн хүрээлэн, Улаанбаатар, Монгол улс

<sup>3</sup> Акита их сургууль, Акита, Япон улс

<sup>4</sup> ШУТИС, Геологи, уул уурхайн сургууль, Улаанбаатар, Монгол улс

<sup>5</sup> МАК ХХК, Улаанбаатар, Монгол улс

<sup>6</sup> Фэстжампер ХХК, Улаанбаатар, Монгол улс

#### Abstract

**Хүлээн авсан:** 2021.04.27

**Засварлагдсан:** 2021.04.30

**Зөвшөөрөгдсөн:** 2021.05.05

**Түлхүүр үг:** элсэн чулуу, тектоник, дунд юра, нүүрс, өмнөд Монгол, форланд

**Харилцах зохиогч:**

Б.Эрдэнэцогт МУИС, ШУС, Геологи Геофизикийн тэнхим, Улаанбаатар, Монгол улс  
Имэйл: tsoغو@num.edu.mn

Middle and Upper Jurassic 18 sandstone core samples from exploration borehole, drilled in Nariinsukhait coal deposit, was studied. Geochemistry of samples indicates that sandstones were derived from acidic and intermediate rocks and mixed with recycled older sedimentary rocks. Possible sources are volcano-sedimentary rocks of Mississippian Tost Formation, granite and granodiorite of Early-Late Carboniferous Tavan-Uul complex and sedimentary rocks of Middle-Upper Triassic Noyon Formation. Paleoclimate indices (C-value, Rb/Sr, Sr/Ba, 1000xRb/K<sub>2</sub>O and CIA) reflect that coal seams were accumulated in warmer and more humid climate, when paleo-weathering was intense, whereas sandstones were deposited in relatively cold and arid climate. In Late Jurassic, it is more likely that paleoclimate became more arid and cold compared with Middle Jurassic, indicated by quite low CIA and Rb/Sr. Redox condition (Th/U, Ni/Co and V/Cr) was variable, probably controlled by paleoclimate. Moreover, various discrimination diagrams suggested that Middle Jurassic coal-bearing sedimentary rocks were accumulated in foreland basin. It is consistent with previous interpretations of regional tectonic during Triassic and Jurassic time.

## 1. ОРШИЛ

Тунамал чулуулгийн геохимийн судалгаагаар тунамал савын тектоникийн нөхцөл, тунамал чулуулгийн эх үүсвэр, эх үүсвэр чулуулаг байрлаж байсан тэжээгч муж (өргөгдсөн блок) дахь химийн өгөршлийн эрчим, уур амьсгал зэргийг тодорхойлдог (Nesbitt and Young, 1982; Bhatia & Crook, 1986; Roser, 2000; Verma and Armstrong-Altrin, 2013; Chen and Robertson, 2020). Өмнөд Монголын хэмжээнд девон-карбон, перм, триасын тунамал хурдсын хээрийн болон петрографийн судалгаа хийж тунамал чулуулгийн гарал үүсэл, тунамал савын тектоник нөхцөлийг (Lamb and Badarch, 1997, 2001; Hendrix et al.,

1996, 2001; Johnson et al., 2008), пермийн тунамал хурдсанд геохимийн судалгаагаар, чулуулгийн эх үүсвэр, уур амьсгал, тектоник горимыг тодорхойлсон болно (Batbold et al., 2018; Болормаа нар, 2019). Харин юрын тунамал хурдсын судалгаа одоог хүртэл хийгдээгүй байна.

Юрын хурдсын нарийвчилсан судалгаа Өмнөд Монгол төдийгүй Монголын геологийн хөгжлийн түүхийг нарийвчлан сэргээн босгоход чухал үүрэгтэй. Учир нь дорнод Монголд юрын төгсгөлд царшдасын шахалтын горимоос тэлэлтийн горимд шилжсэн (Graham et al., 2001, Hasegawa et al., 2018) бол баруун Монголд шахалтын горим хэвээр үргэлжилсэн байна (Sjostrom et al., 2001; Lamb et al., 2008). Харин төв

Монголын зарим томоохон савууд шахалт, тэлэлтийн завсрын шинжийг агуулсан байдаг (Johnson et al., 2015). Өмнөд Монголд триас болон түрүү юрын тунамал хурдсын судалгаагаар эдгээр хурдсууд нь форланд хотгорт хуримтлагдсныг тогтоосон (Hendrix et al., 2001) боловч дунд болон хожуу юрын үеийн тектоникийн горим тодорхойгүй үлджээ.

Нөгөө талаас Өмнөговийн нүүрсний сав нь чулуун нүүрс агуулсан эдийн засгийн хувьд маш чухал сав юм. Уг сав дунд перм болон дунд юрын хурдас гол нүүрсжилтийг агуулах (Erdenetsogt and Jargal., 2021) ба юрын чулуун нүүрсний экспорт 2020 оны байдлаар Монголын нийт нүүрсний экспортын 29%-ийг эзэлж байна (Батгэрэл нар, энэ дугаарт). Иймд дунд юрын хурдсын хуримтлалын орчин, уур амьсгалыг нарийвчлан судлах нь юрын нүүрсний чанарын өөрчлөлтийн зүй тогтлыг нарийвчлан тогтоох, улмаар сайн чанарын чулуун нүүрсний орд шинээр илрүүлэхэд тустай юм.

Өмнөд Монголын юрын тектоникийн горим, хурдас хуримтлалын орчныг сэргээн босгох зорилгоор өмнөд Монгол дахь юрын гол зүсэлтүүдийн нэг болох Нарийнсухайтын нүүрсний ордыг сонгож, судалгаа гүйцэтгэв. Судалгааны үр дүнг гурван цуврал өгүүллэг болгов. Үүнд дунд юрын элсэн чулууны геохимийн судалгаа, нүүрсний үнсний геохимийн судалгаа, элсэн чулууны петрографийн судалгаа багтана. Энэ өгүүллэгт элсэн чулууны геохимийн судалгааны үр дүнг нэгтгэсэн бөгөөд судалгааны зорилго нь дунд юрын үеийн өмнөд Монголын геодинамикийн горим, уур амьсгал, дунд юрын тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийг тодорхойлох болно.

## 2. ГЕОЛОГИЙН ТОГТОЦ

### 2.1. Дүүргийн геологийн тогтоц

Нарийнсухайтын нүүрсний орд орчим палеозойн хурдсаас доод карбоны Тост ( $C_1ts$ ), дээд карбоны Тахилт ( $C_2th$ ), доод пермийн Тогоотхар ( $P_1th$ ) формацийн

тунамал вулканоген хурдас, дунд пермийн Дэлийншандхудаг формацийн ( $P_2ds$ ) нүүрс агуулсан терриген хурдас тархана. Доод карбоны Тост, дээд карбоны Тахилт, доод пермийн Тогоот хар формацуудын үнэмлэхүй насыг K-Ar, U-Pb аргаар баталгаажуулсан.

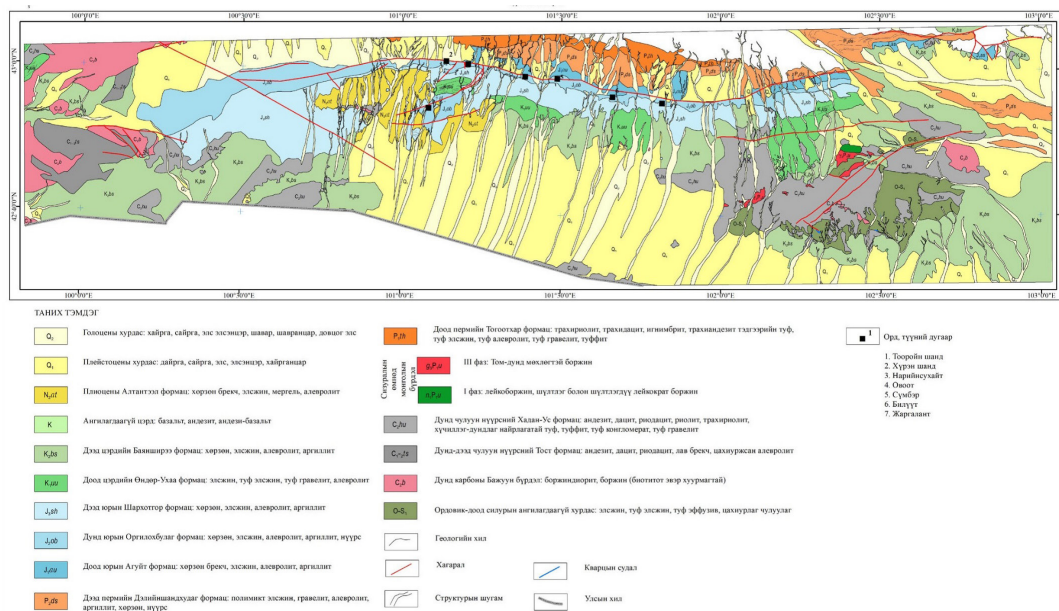
Дүүргийн хэмжээнд триас, юрын тунамал хурдас өргөн тархалттай. Доод триасын Баясах ( $T_1ba$ ), дунд-дээд триасын Ноёнсум ( $T_{2,3ns}$ ) формацууд нь конгломерат, элсэн чулуу, гравелит, алевролит, аргиллитаас тогтоно. Триасын хурдсыг доод юрын Агуйт формацийн ( $J_1ag$ ) конглобрекчи, улаан, ногоон өнгийн аргиллит, дунд юрын Оргилохбулаг формацийн ( $J_2ob$ ) конгломерат, гравелит, элсэн чулуу, алевролит, аргиллит, нүүрс зэрэг хурдасны олон дахин давтагдсан үелүүдээс тогтсон эх газрын тунамал зузаалаг, дээд юрын Шархотгор формацийн ( $J_3sh$ ) конгломерат, шаргал, цагаан элсэн чулуу, алевролит, улаан, ногоон өнгийн аргиллит, нүүрсний нимгэн үеүүд хучдаг. Юрын хурдас нь доод цэрдийн ангилагдаагүй андезит, базальт ( $\beta K_1$ ), доод цэрдийн Өндөр-Ухаа формац ( $K_1uu$ ) болон кайнозойн сэвсгэр хурдсаар хучигдана (Зураг 1) (Баатархуяг нар, 2021). Орд орчмын талбайд түрүү карбоны Бажуун бүрдлийн диорит, гранодиорит, гранит, түрүү-хожуу карбоны Таван-Уул бүрдлийн гранит, гранодиорит, түрүү пермийн Өмнөд Монгол бүрдлийн гранит, гранодиорит илэрнэ. Тархалт их биш. Эдгээр чулуулгийн үнэмлэхүй насыг K-Ar, U-Pb аргаар тогтоосон.

### 2.2. Ордын геологийн тогтоц

Нарийнсухайт орд нь Нарийнсухайтын гэж нэрлэгдэх баруунаас зүүн тийш сунасан, ойролцоогоор 300 км урт, 50 км өргөн, нилээд эрчимтэй атираажилтанд өртсөн синклиналь структурт байрлана. Ордын хэмжээнд дунд юрын Оргилохбулаг ( $J_2ob$ ), дээд юрын Шархотгор формац ( $J_3sh$ ), тэдгээрийг хучсан кайнозойн сэвсгэр хурдас тархана. Нүүрс нь Оргилохбулаг ( $J_2ob$ ) формац агуулагдана (Батгэрэл нар (энэ дугаарт)-ын Зураг 1).

Дунд юрын Оргилохбулаг формац (J<sub>2</sub>ob) доод юрын Агуйт формацийн хүрэн өнгийн конгломерат-брекч дээр нийцлэгээр байрлаж, дээд юрын Шархотгор формацаар хучигдана. Оргилохбулаг формацыг литологийн онцлог, палеоботаникийн тодорхойлолтыг үндэслэн Нарийнсухайт, Мак гэсэн хоёр

мэмбэрт хуваана (Баатархуяг нар, 2021). Доод - Нарийнсухайт мэмбэр нь харьцангуй том ширхэгтэй хурдас – конгломерат, элсэн чулуунаас, харин дээд - Мак мэмбэр нь голчлон жижиг ширхэгтэй чулуулгаас тогтоно. Доод мэмбэрт нүүрсний I-VI давхраас, дээд мэмбэрт VII-XII давхраасууд агуулагдана.



Зураг 1. Нарийнсухайтын хотгорын геологийн зураг (Баатархуяг нар, 2021)

Баатархуяг нар (2021)-ын бичиглэлээр Нарийнсухайт мэмбэрийн зүсэлтийн доод хэсэгт 250 м зузаантай конгломерат, түүний дээр 7 м зузаантай элсэн чулуу болон хамгийн их зузаантай нүүрсний V давхраас (80 м) байрлана. Зүсэлтийн дээд хэсэг элсэн чулуу, конгломератын салаавчилсан үе (71 м), түүний дээр ургамлын үлдэгдэл ихээр агуулсан нүүрслэг алевролит (55 м), элсэн чулуу, нүүрслэг алевролит, аргиллит, нүүрсний салаавчилсан үеүүдээс тогтоно (57 м). Мэмбэрийн зузаан 520 м. Мак мэмбэрийн зүсэлтийн уланд 1 м зузаантай конгломератын үе байх ба дээр нь 366 м зузаан алевролит, нүүрслэг алевролит, нүүрсний үе хэвтэнэ. Зүсэлтийн дунд хэсэг алевролит болон нүүрсний үе агуулсан 190 м зузаан элсэн чулууны үеэс бүрдэнэ. Зүсэлтийн дээд хэсэг конгломератын

нимгэн үе агуулсан, элсэн чулуу, алевролит, нүүрсний салаавчилсан үеүүдээс (291 м) тогтоно. Мэмбэрийн зузаан 848 м. Формацийн насыг ургамлын үлдэгдлээр тогтоосон (Баатархуяг нар 2010, 2012, Kostina and Herman, 2013). Дээд юрын Шар хотгор формац (J<sub>2</sub>sh) дунд юрын Оргилохбулаг формацыг маш бага өнцгийн болон стратиграфийн үл нийцлэгээр хучиж, доод цэврдийн хурдсаар үл нийцлэгээр хучигдана. Шархотгор формац муу барьцалдсан цайвар ногоон өнгийн элсэн чулууны нарийн үетэй конгломерат, элсэн чулуу, ногоон өнгийн алевролит, аргиллитаас тогтоно. Зүсэлтэнд 30-50 см зузаантай нүүрсний үе агуулагдана. Формацийн зузаан 335 м (Баатархуяг нар, 2021).

### 3. ДЭЭЖ БОЛОН СУДАЛГААНЫ АРГА

Нарийсухайтын нүүрсний ордод 2018 онд өрөмдсөн, 515.6 м гүн хайгуулын M18052 цооногоос (N101°12'35.4"; E43°0'16.6") 18 ш чөмгөн дээж авсан. Үүнд дунд юрын Оргилохбулаг формацийн 15 ш, дээд юрын Шархотгор формацийн 3 ш элсэн чулуу багтаж байна.

Дээжийг бутлан, жигдрүүлсний дараа 75 микрометр хүртэл нунтаглаж, үндсэн исэл, сарнимал болон газрын ховор элемент (ГХЭ)-ийг тодорхойлов. Үндсэн ислийн шинжилгээг Японы Акиита Их Сургууль, Косака уул уурхайн судалгааны хүрээлэнд, сарнимал болон газрын ховор элементий (ГХЭ)-ийн шинжилгээг Канадын ALS, Улаанбаатар дахь SGS лабораторид тус тус тодорхойлов. Үндсэн исэл, сарнимал болон ГХЭ-ийн агуулгыг тайлалтанд ашиглахын өмнө шатаалтын хорогдлыг хасаж, дахин тооцоолсон болно (Хүснэгт 1-3).

Химийн өөрчлөлтийн индекс (CIA; Nesbitt and Young, 1982)-ийг тооцохдоо  $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO^*)] \times 100$  томъёог ашигласан. CIA-г тооцоход молийн массыг хэрэглэнэ. Өөрөөр хэлбэл лабораторийн

шинжилгээгээр тодорхойлсон исэл тус бүрийн хувийг тухайн ислийн атом массыг ашиглан моль масс руу шилжүүлнэ. Жишээлбэл, лабораторийн шинжилгээгээр J<sub>2</sub>-3 дээжийн Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ийн агуулга 14.53 % байсан. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> атом масс 101.96 тул, моль массыг  $14.53 / 101.96 = 0.142$  гэж тооцно. Үүнээс гадна CIA тооцоход ашиглаж буй CaO\* нь силикат чулуулаг дахь CaO-гийн хэмжээ юм. Тунамал чулуулаг хоёрдогч кальцитаар баяжих нь түгээмэл тул дээжинд тодорхойлогдсон нийт CaO-гийн агуулгад засвар хийнэ. Ингэхдээ  $CaO^* = \text{моль}CaO - \text{моль}CO_2(\text{кальцит}) - (0.5 \times \text{моль}CO_2(\text{доломит}) - [(10/3) \times \text{моль}P_2O_5(\text{апатит})])$  томъёо ашиглана (Pedo et al., 1995). Хэрэв CO<sub>2</sub>-ийн мэдээлэл байхгүй бол McLennan (1993) аргыг ашиглан засвар хийж болно. Энэ арга нь силикат чулуулаг дахь CaO ба Na<sub>2</sub>O агуулга ойролцоо байдаг тулгуурлана. Эхлээд  $CaO^* = \text{моль}CaO - (10 / 3 \text{ моль}P_2O_5)$  тооцож, CaO\* утга Na<sub>2</sub>O-ийн агуулгаас бага байвал тооцоонд ашиглана. Хэрэв өндөр байвал Na<sub>2</sub>O-ийн агуулгыг CaO\* утга болгож авна. Энэ судалгаанд McLennan (1993) аргыг ашиглалаа.

**Хүснэгт 1. Дунд юрын Оргилохбулаг, дээд юрын Шархотгор формацийн дээжийн үндсэн ислийн шинжилгээ**

Дээж	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CIA
J3-1	69.2	0.9	13.2	4.7	0.1	1.9	4.6	2.6	2.5	0.2	0.2	54
J3-3	70.7	0.5	13.9	4.4	0.1	2.3	2.5	2.8	2.7	0.1	0.2	54
J3-4	71.5	0.5	14.8	4.3	0.1	2	1.5	2.6	2.6	0.1	0.2	61
J2-3	73.3	0.5	14.5	4.5	0.0	1.8	1.0	2.5	1.7	0.2	0.1	66
J2-5	65.2	1.3	19.1	6.6	0.1	2.4	1.0	1.4	2.7	0.2	0.1	74
J2-29	66.6	1.1	17.9	6.3	0.1	2.3	0.6	1.9	2.9	0.2	0.2	72
J2-30	69.5	0.9	16.6	5.1	0.1	1.9	0.8	2.4	2.5	0.2	0.2	68
J2-31	68.4	1.1	16.5	6.2	0.1	1.9	0.7	2.2	2.7	0.2	0.2	70
J2-32	70.9	0.8	15.5	5.0	0.1	1.7	1.1	2.4	2.4	0.2	0.2	66
J2-33	72	0.6	15.7	4.3	0.1	1.3	0.6	2.7	2.6	0.1	0.2	66
J2-36	64.2	1.1	17.4	9.1	0.2	2.3	0.9	1.5	3.1	0.2	0.2	71
J2-37	56.6	0.6	12.8	5.6	0.1	2.9	17.1	1.4	2.7	0.2	0.2	63
J2-40	69.8	0.6	16.8	4.3	0.1	1.8	2.7	1.2	2.5	0.2	0.1	72
J2-41	73	0.7	16.7	3.5	0.0	1.1	0.9	1.4	2.5	0.1	0.1	73
J2-45	73.3	0.6	15.9	3.5	0.0	1.1	1.3	1.5	2.6	0.1	0.2	68
J2-49	70.2	1.0	23.4	1.6	0.0	0.6	1.1	0.2	1.7	0.1	0.1	90
J2-50	68.2	1.0	19.1	4.6	0.0	1.9	2.6	0.4	2.0	0.1	0.1	84
J2-51	74.1	0.6	16.6	4.4	0.0	0.9	0.4	1.0	1.8	0.1	0.1	80

**Хүснэгт 2. Дунд юрын Оргилохбулаг, дээд юрын Шархотгор формацийн дээжийн сарнимал элементийн шинжилгээ**

Дээж	Rb	Ba	Sr	Th	U	Zr	Hf	Y	Nb	Sc	V	Cr	Co	Cu	Ni	Zn
J3-1	83	1101	220	5.7	1.7	155	2.1	22.8	6.4	8.5	71	109	10.4	10.7	20.3	49.1
J3-3	87	469	248	5.6	1.7	163	3.9	30.2	8.8	10.5	68	89	10.1	3.6	27.0	51.6
J3-4	85	388	174	6.1	1.8	142	3.9	29.3	6.8	10.3	73	107	12.3	10.0	41.9	52.8
J2-3	62	244	129	5.0	1.6	137	2.0	16.4	6.1	8.1	70	101	9.5	10.2	17.3	51.9
J2-5	109	579	137	10.1	2.8	304	5.3	26.2	10.6	14.8	127	93	16.8	25.3	30.6	85.5
J2-29	89	562	167	8.5	2.6	297	7.6	29.5	14.1	14.8	139	104	20.9	31.2	42.3	81.2
J2-30	93	449	163	6.9	1.8	185	5.0	24.6	8.3	11.5	124	90	17.8	20.5	46.2	71.0
J2-31	86	407	164	6.6	1.8	230	4.9	23.6	11.8	11.4	167	110	16.2	23.0	45.4	89.7
J2-32	82	469	170	7.8	1.9	180	7.0	29.3	8.6	12.5	100	111	10.5	24.2	33.8	64.5
J2-33	79	470	179	6.6	1.9	185	4.8	27.0	8.8	11.4	98	82	9.2	25.2	31.6	60.3
J2-36	98	561	138	9.4	2.6	205	6.4	29.7	12.8	17.8	143	80	26.9	28.6	31.0	87.3
J2-37	67	424	421	6.0	1.8	198	5.2	26.7	9.1	11.4	78	68	11.8	15.8	4.7	42.6
J2-40	73	337	265	5.8	1.6	171	4.2	25.7	1.5	10.4	84	97	13.5	20.8	17.7	55.4
J2-41	84	381	201	6.1	1.7	171	4.4	30.0	9.1	10.2	76	129	6.9	12.9	38.6	57.0
J2-45	88	408	193	5.4	1.5	147	3.0	17.4	6.1	8.1	71	131	8.0	10.1	18.3	52.7
J2-49	65	314	173	8.4	2.7	328	5.2	19.9	10.4	8.3	77	130	56.1	18.7	105.1	86.4
J2-50	69	441	285	6.6	2.1	274	4.2	21.3	8.4	9.5	79	132	9.2	13.7	22.1	67.4
J2-51	74	821	171	6.0	1.7	174	4.2	25.8	10.4	13.2	102	120	12.2	21.8	31.9	47.2

**Хүснэгт 3. Дунд юрын Оргилохбулаг, дээд юрын Шархотгор формацийн дээжийн ГХЭ-ийн шинжилгээ**

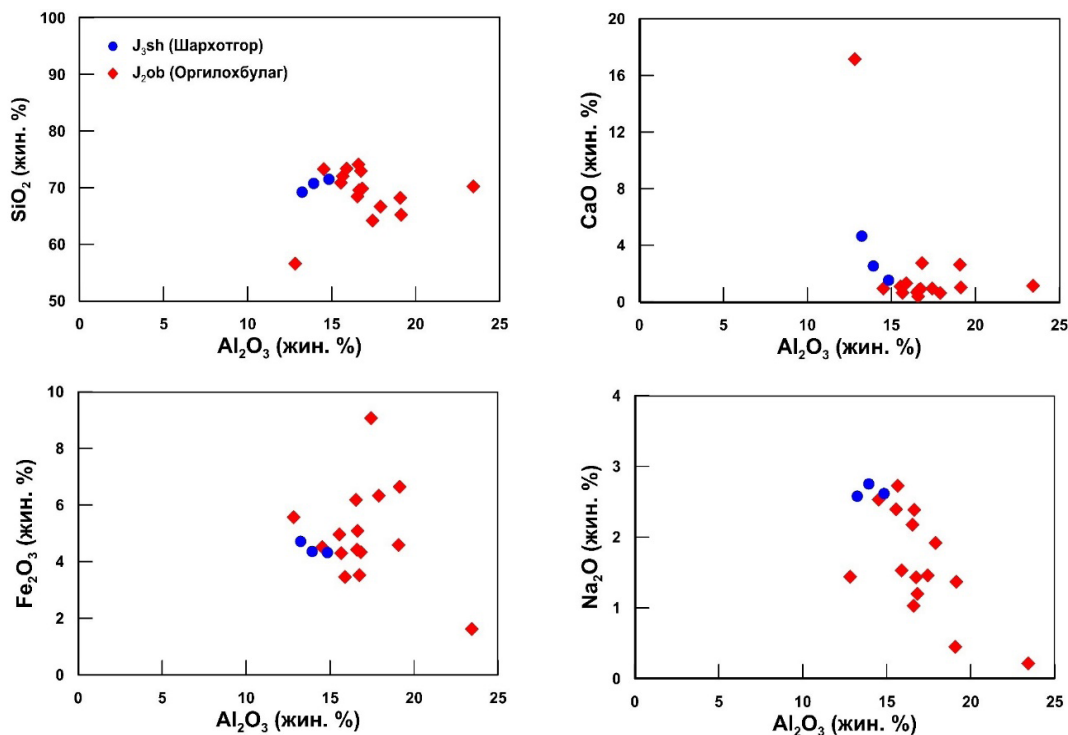
Дээж	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LREE/HREE
J3-1	21.1	44.4	5.8	22.4	4.8	1.4	4.8	0.7	4.9	1.0	2.7	0.4	2.0	0.4	117	5.4
J3-3	19.0	38.6	4.8	18.3	4.1	0.9	3.8	0.6	3.7	0.8	2.2	0.3	2.2	0.3	100	5.7
J3-4	20.1	41.2	5.2	19.7	4.3	1.0	3.8	0.6	3.7	0.8	2.2	0.3	2.1	0.3	105	6.1
J2-3	17.0	36.0	4.8	18.6	3.9	1.0	3.7	0.6	3.7	0.7	2.2	0.3	1.7	0.3	95	5.7
J2-5	29.2	61.5	8.0	30.6	6.2	1.5	5.7	0.9	5.5	1.2	3.5	0.5	2.9	0.5	158	6.1
J2-29	31.0	64.2	8.1	31.4	6.6	1.6	6.0	1.0	5.7	1.2	3.5	0.5	3.2	0.5	164	6.1
J2-30	24.6	50.1	6.2	24.3	4.9	1.2	4.2	0.7	4.0	0.9	2.5	0.4	2.5	0.4	127	6.5
J2-31	22.5	45.9	5.7	21.9	4.6	1.1	4.2	0.7	4.0	0.9	2.5	0.4	2.4	0.4	117	6.1
J2-32	28.7	58.0	7.1	27.1	5.7	1.3	4.6	0.7	4.3	0.9	2.9	0.4	2.7	0.4	145	7
J2-33	21.0	44.0	5.4	21.4	5.0	1.1	4.4	0.7	4.4	0.9	2.8	0.4	2.8	0.4	115	5.4
J2-36	31.4	64.0	8.1	31.0	6.8	1.5	6.3	1.0	5.9	1.3	3.7	0.5	3.3	0.5	165	5.9
J2-37	21.7	43.5	5.5	21.6	4.4	1.1	4.2	0.7	4.1	0.9	2.5	0.4	2.3	0.3	113	5.9
J2-40	20.1	41.2	5.2	19.6	4.3	1.0	3.9	0.6	3.6	0.8	2.3	0.3	2.2	0.4	105	6
J2-41	20.9	42.9	5.4	20.8	4.4	1.1	4.1	0.7	4.1	0.8	2.6	0.4	2.5	0.4	111	5.7
J2-45	19.0	38.8	5.1	20.3	4.2	1.2	3.8	0.6	3.7	0.8	2.2	0.3	1.8	0.3	102	5.9
J2-49	25.2	54.7	6.9	25.7	5.0	1.1	4.6	0.7	4.2	0.9	2.6	0.4	2.1	0.3	134	7
J2-50	21.8	44.8	5.9	22.3	4.4	1.0	4.2	0.6	4.1	0.9	2.5	0.4	2.1	0.3	116	6.1
J2-51	23.6	47.7	6.0	23.6	5.4	1.2	4.5	0.7	4.3	0.9	2.6	0.3	2.3	0.4	123	6.2

#### 4.ҮР ДҮН

##### 4.1. Үндсэн ислийн шинжилгээ

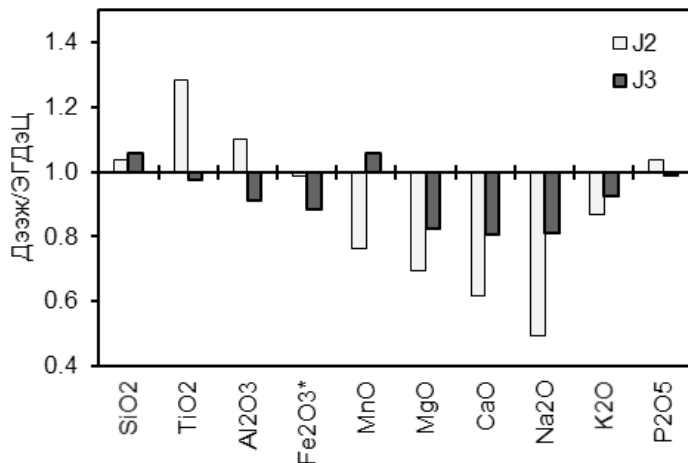
Дунд юрын Оргилохбулаг формацийн (J<sub>2</sub>ob) элсэн чулууны үндсэн ислийн дундаж агуулга SiO<sub>2</sub> - 69.0±1.2% (56.6-74.1%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 17.0±0.6% (12.8-23.4%), TiO<sub>2</sub> - 0.8±(0.5-1.3%), K<sub>2</sub>O - 2.4±0.1% (1.7-3.1%), MgO - 1.7±0.2% (0.6-2.9%) Na<sub>2</sub>O - 1.6±0.2% (0.2-2.7) байна (Хүснэгт 1). Эдгээр ислүүдээс Na<sub>2</sub>O-с бусад нь Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-тай хамааралгүй байна (Зураг 2). Кварцын агуулга өндөртэй, эх үүсвэрээсээ хол зөөгдөж, сайн ангилагдсан элсэн чулууны Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> агуулга SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O-той урвуу, бусад ислүүдтэй шууд хамааралтай байдаг. Энэ нь элсэн чулуунд шаварлаг эрдсийн хэмжээ багасч, кварц, плагиоклазын агуулга нэмэгддэгтэй холбоотой юм (Roser, 2000). Харин Оргилохбулаг формацийн элсэн чулуу нь эх үүсвэртэйгээ ойр хуримтлагдаж, муу

ангилагдсан, чулууны хэмхдэстэй элсэн чулуу тул дээрхи хамаарал тогтоогдсонгүй. Дээжийн Na<sub>2</sub>O ба Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ны урвуу хамаарал нь элсэн чулуунд агуулагдаж буй плагиоклазаас шалтгаална (Roser, 2000; Narantuya and Roser, 2012). Бүх дээжийн K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <0.3 байгаа нь K<sub>2</sub>O-ийн дийлэнхи хэсэг нь К-хээрийн жоншинд биш, шаварлаг эрдсүүдэд агуулагдаж буйг илтгэнэ. Үндсэн ислүүдийн дунджийг эх газрын дээд царцас (ЭГДЭЦ)-ын дундаж утгаар нормчлосныг Зураг 3-д үзүүлэв. Зургаас харахад дунд юрын Оргилох булаг болон дээд юрын Шархотгор формацийн элсэн чулууны ислийн агуулгын өөрчлөлт төстэй, SiO<sub>2</sub> бага зэрэг баяжиж, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O ядуурсан байна. Хоёроос бусад дээжинд CaO агуулга бага, дунджаар 2.3±0.9 (0.4-17.1%) байгаа нь дээжүүдэд диагенетик карбонат эрдсүүд байхгүйг харуулна (Хүснэгт 1).



Зураг 2. Дунд болон дээд юрын элсэн чулууны дээжийн Харкерийн диаграмм





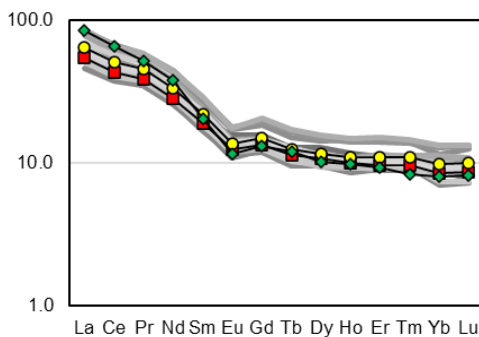
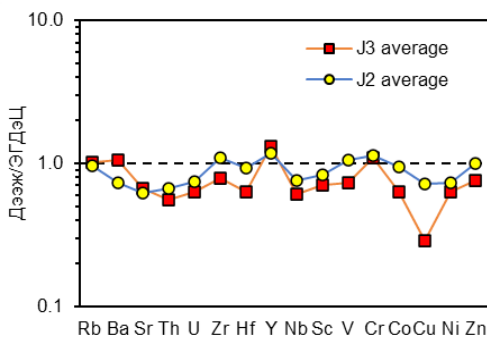
Зураг 3. Дээжийн үндсэн ислийн дундаж агуулгыг ЭГДэЦ-ийн дундаж утгаар нормчилсон нь. ЭГДэЦ-ийн дунжийг Rudnick and Gao (2005) авав.

**4.2. Сарнимал болон ГХЭ-ийн шинжилгээ**

Дунд болон дээд юрын дээжийн сарнимал элементийн дундаж утгыг ЭГДэЦ-ийн дундаж утгаар нормчилсоныг Зураг 4а-д үзүүлэв. Оргилохбулаг болон Шархотгор формацийн дээжүүд хоорондоо төстэй бөгөөд Cr, Y баяжиж, бусад дийлэнх элементээр ядуурчээ. Хоёр формацийн хувьд агуулга нь хамгийн их зөрүүтэй элементүүд нь V, Co, Cu, Zr, Ba, Hf байна. Дунд юрын элсэн чулуунд Zr агуулга 137-328 ppm, дундаж нь 212±16 ppm. Зарим дээжин дэх Zr-ний өндөр агуулга нь зөөгдмөл циркон байгаатай холбоотой (Хүснэгт 2).

ГХЭ-ийн шинжилгээний үр дүнг Хүснэгт 3-д,

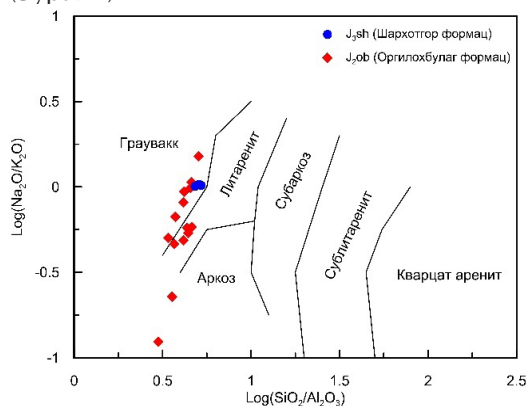
хондритод нормчилсон муруйг Зураг 4б-д үзүүлэв. Дээжүүдийн ΣГХЭ 94.5-165.2 ppm хүртэл хэлбэлзэх ба дундаж нь 122.9±5.2 ppm. Дунджаар ΣХөгХЭ 105.5±4.5ppm, ΣХүГХЭ 17.5±0.7ppm ба ХөгХЭ/ХүГХЭ 6.0 байгаа нь дээжүүд ХөгХЭ баяжсан болохыг илтгэнэ. ΣГХЭ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O болон CIA эерэг хамааралтай байх тул ГХЭ-ийг шаварлаг чулуу үүсгэгч эрдсүүдтэй холбоотой гэж үзэв. Дээжийн Eu сөрөг аномаль үзүүлэх ба Eu/Eu\* 0.71-0.88 (дундаж нь 0.77±0.04) хэлбэлзэнэ. C1 хондритод нормчилсон ГХЭ-ийн муруй, Eu сөрөг аномалиас үзэхэд элсэн чулуу нь ЭГДэЦ-тай ойролцоо агуулгатай болох нь харагдана (Зураг 4б).



Зураг 4. Дунд болон дээд юрын дээжийн сарнимал болон ГХЭ-ийн агуулга. (a) Сарнимал элементийн дундаж агуулгыг ЭГДэЦ-ийн дундаж утгаар нормчилсон нь; ЭГДэЦ-ийн дунжийг Rudnick and Gao (2005) авав. (b)Хондритод нормчилсон ГХЭ; Хондритийн утгыг Taylor and McLennan (1985) авав.

### 4.3. Ангидал

Элсэн чулуу нь Pettitjhon et al. (1972) ангидалаар химийн найрлагын хувьд граувакк, литаренит, аркозын найрлагатай (Зураг 5).



Зураг 5. Дунд болон дээд юрын дээжийг химийн ангилалын диаграмм дээр буулгасан нь (Pettitjhon et al., 1972)

## 5. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

### 5.1. Тэжээгч мужийн өгөршил, эртний уур амьсгал

#### 5.1.1. Өгөршлийн эрчим

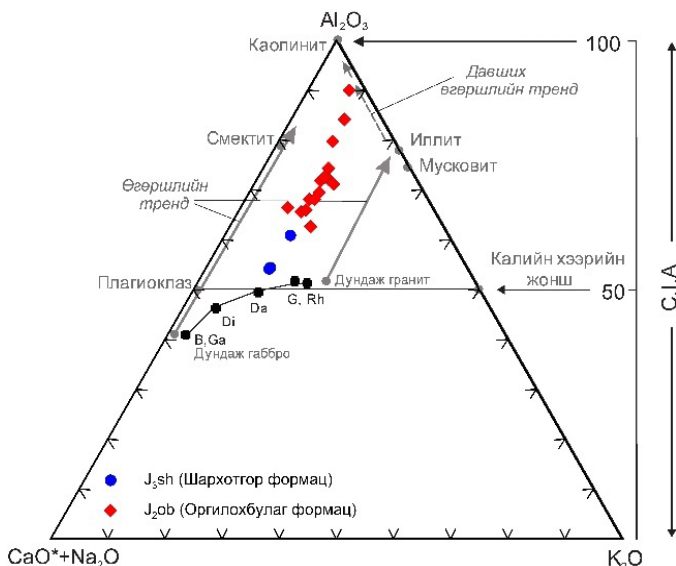
Тэжээгч муж (тектоникийн өргөгдсөн блок)-ийн химийн өгөршил нь уур амьсгалаас хамаарах ба өгөршлөөр чулуулгаас  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  зөөгдөж,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$  өгөршлийн бүтээгдэхүүнд үлдэнэ. Үүнд тулгуурлан химийн өгөршлийн зэргийг “Хувирлын химийн индекс” (CIA)-р тодорхойлно (Nesbitt and Young, 1982). CIA утга өгөршилд автаагүй базальтад 30-45, боржин, боржиндиоритод 45-55, шаварлаг чулуулагт 75-85, каолинит, хлоритод 100 байна. Тунамал чулуулагт CIA утга 50-60 бол тэжээгч мужид химийн өгөршил сул (уур амьсгал сэрүүн), 60-80 бол дунд зэрэг (дулаан, чийглэг), 80-100 бол эрчимтэй (халуун, чийглэг) явагдсан гэж үзнэ (Pedo et al., 1995). Дунд юрын дээжийн CIA 63-90 хооронд хэлбэлзэх ба дундаж нь  $72 \pm 2$ . Энэ нь тэжээгч мужид химийн өгөршлийн эрчим дунд зэрэг, уур амьсгал дулаан, чийглэг байсныг илтгэнэ. Харин дээд юрын дээжийн дундаж CIA  $56 \pm 2$  байгаа

нь тэжээгч мужийн өгөршил сул байсныг заана. Энэ үед уур амьсгал өөрчлөгдөж, дунд юратай харьцуулахад сэрүүн болжээ. Гэхдээ дээд юрын Шархотгор формацын зөвхөн 3 дээж судалгаанд хамрагдсаныг дурьдах нь зүйтэй. Цаашид нэмж дээжлэн, нарийвчлан судлах шаардлагатай.

Химийн өгөршлийн үед явагдах гол урвал нь исэлдэх урвал бөгөөд исэлдэлтийн улмаас U агуулга багасаж, Th/U ихэсдэг. Исэлдэлтийг Th/U өндөр ( $>4$ ) агуулга болон Ni/Co ( $<5$ ), V/Cr ( $<2$ ) бага агуулга заана (Taylor and McLennan, 1985; Wang et al., 2016). Судласан дээжүүдийн Th/U дундаж агуулга  $3.5 \pm 0.1$ , Ni/Co дундаж  $2.4 \pm 0.3$ , V/Cr дундаж  $1.0 \pm 0.1$  байх тул дунд болон дээд юрын хурдас хүчилтөрөгч ихтэй, исэлдэх орчинд хуримтлагджээ.

A-CN-K диаграмм дээр дээжүүдийг буулгаж, Зураг 6-д үзүүлэв. Диаграммын оройнуудад  $A = \text{Al}_2\text{O}_3(\text{моль})'$ ,  $\text{CN} = \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}(\text{моль})'$ ,  $K = \text{K}_2\text{O}(\text{моль})$  байна. Зургаас харахад дээжүүд A-K тэнхлэг рүү хазайгаагүй, өөрөөр хэлбэл диагенезийн үед K-метасоматизмд өртөөгүй байна. Уг диаграммыг ашиглан, тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийг тогтоож болдог. Хэрэв дээжүүд K-метасоматизмд автаагүй бол дээжүүдийг дайруулан A-CN тэнхлэгтэй параллель шугам татаж эх үүсвэрийн найрлагыг тодорхойлно. Юрын дээжүүдийн хувьд боржиндиорит, дацитийн найрлагатай чулуулгийн өгөршлөөр үүсчээ. Үүнээс гадна чулуулгийн CIA ихээхэн өөрчлөлттэй байх нь тэжээгч мужид тектоник идэвхжил их, өргөгдөж байсныг илтгэдэг. Үүнээс үүдэн чулуулаг химийн өгөршилд жигд орж чаддаггүй байна (Nesbitt et al., 1997). Дунд болон дээд юрын дээжүүдийн CIA 54-90 байгаа нь тектоник хөдөлгөөн идэвхитэй байсныг илтгэх ба триасаас эхлэн, юрын үед эрчимжсэн, өмнөөс хойш чиглэлтэй тектоник шахалт явагдаж байсан гэдэг региональ геодинамикийн тайлалтай нийцэж байна (Hendrix et al., 1996; Hendrix et al., 2001) (5.3. Тектоник хэсгийг үз).





Зураг. 6. А-CN-K диаграмм дээр дунд болон дээд юрын дээжүүдийг буулгасан нь.

### 5.1.2. Уур амьсгал

Fe, Mn, Cr, Ni, V, Co зэрэг элементүүд чийглэг нөхцөлд хурдаст баяжаг бол хуурай уур амьсгалд эвапоритуудад Ca, Mg, Sr, Ba, K, Na зэрэг элементүүд хуримтлагдана. Үүнд тулгуурлан Zhao et al. (2007) Зүүнгарын савын пермийн уур амьсгалын судалгаанд  $(Fe+Mn+Cr+Ni+V+Co)/(Ca+Mg+Sr+Ba+K+Na)$  буюу C-утгыг ашигласан байдаг. C-утга  $<0.4$  бол арид,  $0.4-0.8$  бол завсрын,  $>0.8$  бол чийглэг уур амьсгалыг заана (Cao et al., 2012). Үүнээс гадна өгөршлийн эрчим, эртний уур амьсгалын судалгаанд Rb/Sr болон  $\Sigma GX$  ашиглана (McLennan et al., 1993, Chen et al., 1999).

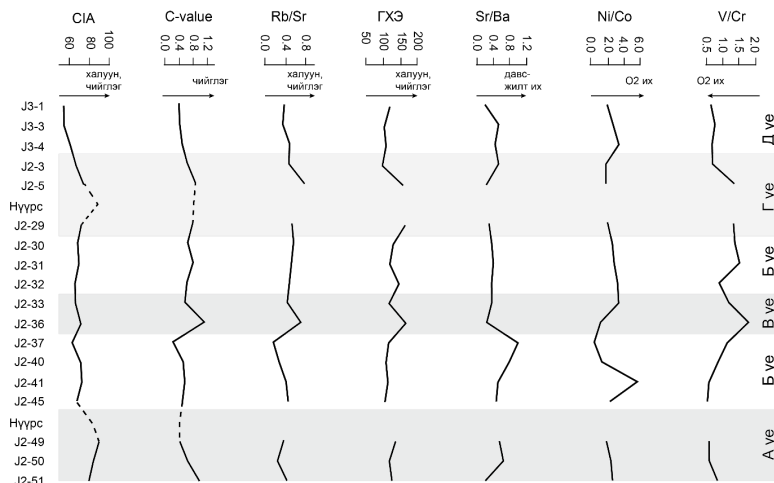
Хурдасхуримтлалын усанорчны давсжилтыг Sr/Ba болон  $Rbx1000/K_2O$  тодорхойлж болно. Цэнгэг усанд агуулагдаж байсан  $Ba^{2+}$  нь давстай усны  $SO_4^{2-}$ -тэй нэгдэж, эрэг орчимд  $BaSO_4$  болж тунадасжина. Харин  $SrSO_4$  усанд сайн уусдаг тул давстай нуур, усан сангийн төвд тундасжина. Хэрэв Sr/Ba  $<1$  бол цэнгэг,  $>1$  бол давстай орчныг заана (Cao et al., 2015). Цэнгэг усан санд хуримтлагдсан хурдаст  $Rbx1000/K_2O$  харьцаа  $<4$ , тэнгисийн хурдаст  $>6$  байна. 4-6 бол завсрын (brackish) гэж үзнэ (Fu et al., 2018).

Дунд юрын Оргилохбулаг формацын дээжийн C-утга  $0.2-1.1$  хүрч хэлбэлзэнэ. Дундаж нь  $0.7 \pm 0.1$  байх тул харьцангуй чийглэг, дулаан байсан гэж үзлээ. Харин дээд юрын дээжийн C-утга дундажар  $0.4$  байгаа нь дунд юратай харьцуулахад илүү хуурай болсныг илтгэнэ. Энэ нь дээжүүд өгөршлийн эрчим сул, сэрүүн уур амьсгалд (CIA бага утга) хуримтлагдсан гэдэг тайлалттай нийцэж байна. Дунд болон дээд юрын дээжийн Sr/Ba дундаж агуулга  $0.5 \pm 0.05$ ,  $1000 \times Rb/K_2O$  дундажар  $4.1 \pm 0.1$  байгаа нь уг хурдас цэнгэг усан санд хуримтлагдсаныг заана.

Зураг 7-д эртний уур амьсгал, хуримтлалын орчны зарим үзүүлэлтүүдийг нэгтгэв. Зургаас харахад дунд юрын хурдсын зүсэлтийн доод хэсэгт уур амьсгал дулаан, чийглэг байсан (CIA 85, C-value 0.7) ба их зузаантай нүүрсний давхраас (Давхраас V) хуримтлагджээ (A үе). Үүний дараа харьцангуй сэрүүн үе (CIA 69, C-value 0.6) эхлэв (B үе). Энэ үеийн дунд богино хугацаанд уур амьсгал дулаан, чийглэг (өндөр C-value, Rb/Sr болон REE) болсон байна (B үе). Зүсэлтийн дээд хэсэгт уур амьсгал дахин дулаан, чийглэг болж (C-value, Rb/Sr, REE өндөр), нүүрсний үеүүд хуримтлагдав (Г үе). Гэхдээ энэ

үеийг төлөөлөх дээж хангалттай биш бөгөөд J2-29-с J2-5 хүртэл 220 м интервал судлагдаагүй байгааг дурьдах нь зүйтэй. Зүсэлтийн дээд хэсэгт, дээд юрын хурдас хуримтлагдаж эхлэх үед уур амьсгал

өөрчлөгдөн хуурай, сэрүүн (CIA 57, C-value 0.4) болжээ ( $\Delta$  үе). Усны давсжит (Sr/Ba) уур амьсгалын өөрчлөлттэй холбоотой өөрчлөгдөж байв.



**Зураг 7. Уур амьсгал, хурдас хуримтлалын орчныг сэргээн босгоход ашигладаг геохимийн зарим индексүүдийн өөрчлөлт**

### 5.2. Дунд болон дээд юрын тунамал чулууны эх үүсвэр

Тунамал чулуугийн химийн найрлагад эх үүсвэрийн төрөл гол нөлөөтэй. Суурилаг найрлагатай чулуулгаас үүссэн хурдаст  $\text{SiO}_2$  бага, Fe, Ti, Mg, Cr, Ni, Sc зэрэг элементээр баяжсан байна. Харин хүчиллэг найрлагатай чулуулгаас үүссэн хурдас  $\text{SiO}_2$  баялаг, Th, Zr, Y, ГХЭ-р баяжина (Roser, 2000). Үүнд тулгуурлан тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийг тодорхойлж болно (жбэл, Roser and Korsh, 1988; Hayashi et al., 1997). Гэхдээ үндсэн ислийн агуулга хурдас зөөгдөж ангилагдах, эсвэл тунамал чулуулаг эвдэрч, дахин хуримтлагдах, хурдас хувиралд орох үед нилээд өөрчлөгддөгийг анхаарах ёстой. Иймд харьцангуй тогтвортой Al, Ti, болон сарнимал элементийг ашиглах нь илүү найдвартай (Taylor and McLennan, 1985; McLennan et al., 1993; Cullers, 1995).

Al-, Ti-, Zr-ий ислүүд бага температурт усанд маш муу уусдаг тул тунамал хурдас дахь  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  эх чулуулагтайгаа ижил байна.  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 > 21$  бол хүчиллэг, 8-21 бол дундлаг,  $< 8$  бол суурилаг найрлагатай

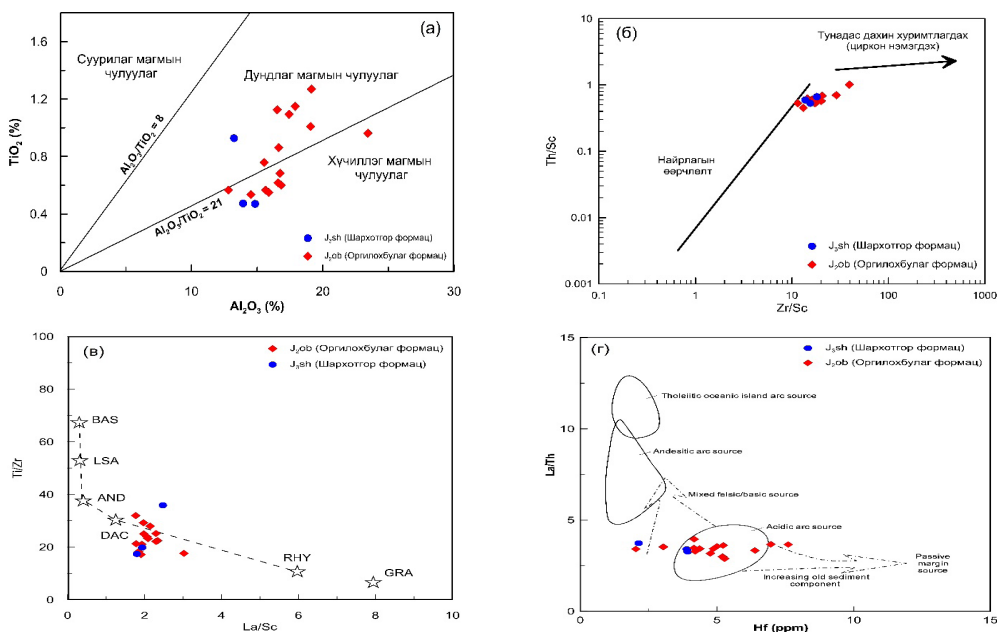
чулуулгаас үүссэн гэж үздэг (Hayashi et al., 1997). Дээжийн  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  14-32 хэлбэлзэж байгаа тул эх үүсвэр нь хүчиллэг болон дундлаг найрлагатай чулуулаг байсан гэж дүгнэв (Зураг 8а). Эх газрын арлан нумын хүчиллэг найрлагатай чулуулгийн La/Th бага, хэлбэлзэл багатай, жигд байх ба Hf агуулга 3-7 ppm хэтрэхгүй. Арлан нум хөгжин, ул суурийн боржинлог чулуулаг ил гарч өгөршихөд циркон угаагдан зөөгдөж, Hf агуулга нэмэгдэнэ (Floyd and Leveridge, 1987). Иймд La/Th ба Hf агуулгаар чулуулгийн эх үүсвэрийн найрлагыг тодорхойлж болдог. Мөн Ti/Zr ба La/Sc агуулгыг чулуулгийн эх үүсвэрийг тодорхойлоход өргөнөөр ашигладаг (Bhatia and Crook, 1986). Дээрхи сарнимал элементүүдийн агуулгаас үзэхэд юрын элсэн чулуу нь дацит болон риолитийн найрлагатай чулуулгаас үүссэн байна (Зураг 8б,в).

Тунамал чулуулаг өгөршин, дахин хуримтлагдах (recycling) процесс тунамал савын үүсэл хөгжил, тектоникийн нөхцлийг тайлахад чухал үүрэгтэй. Орчин үед хадгалагдан үлдсэн тунамал чулуулгийн

дийлэнх нь тунамал чулуулгаас үүссэн гэж үздэг (McLennan et al., 1993). Зарим сарнимал элементүүд голчлон хүнд эрдсүүдэд агуулагддаг (жбэл, Zr цирконд гэх мэт) тул хүнд эрдсийн агуулгаар тухайн тунамал чулуулаг өгөршин, дахин зөөгдсөн эсэхийг тодорхойлж болно. Хамгийн өргөн ашиглагддаг сарнимал элементүүд нь Zr/Sc ба Th/Sc (McLennan et al., 1990). Зураг 8г харахад дээжүүд тодорхой хэмжээнд дахин хуримтлагдсан байна. Ялангуяа дунд юрын элсэн чулууны Zr агуулга их байгаа нь зөөгдмөл цирконтой холбоотой юм (Зураг 4).

Геохимийн судалгааны үр дүнгээс харахад дунд, дээд юрын тунамал чулуулгийн эх үүсвэр нь хүчиллэг болон дундлаг найрлагатай чулуулаг байсан ба тодорхой хэмжээнд тунамал чулуулаг оролцжээ. Петрографийн судалгаагаар дунд юрын элсэн чулууны дээжинд дундлаг болон хүчиллэг эффузив, мөн тунамал чулуулгийн хэмхдэс агуулагддаг (хэвлэгдээгүй үр дүн).

Иймд дунд, дээд юрын элсэн чулууг дундлаг болон хүчиллэг найрлагатай чулуулгийн холимог эх үүсвэртэй гэж үзэж байна. Энэ нь A-CN-K диаграммаар тодорхойлсон боржиндиорит, дацитийн найрлагатай эх үүсвэрээс үүссэн гэсэн тайлалттай нийцэж байна. Нарийнсухайт хотгорын орчимд субдукитай холбоотой үүссэн (Guy et al., 2014; Yang et al., 2016) доод карбоны Тост формацийн (C<sub>1</sub>ts) вулканоген-тунамал болон түрүү-хожуу карбоны Таван-Уул бүрдлийн хүчиллэг найрлагатай интрузив чулуулаг өргөн тархалттай. Уг чулуулгийг хамгийн боломжит эх үүсвэр гэж тооцов. Мөн триасаас эхлэн юрд эрчимжсэн, өмнөөс хойш чиглэлтэй тектоник шахалтын нөлөөгөөр перм эсвэл триасын тунамал хурдас өргөгдөн, өгөршилд орсон байна. Перм, триасын тунамал хурдсууд нь мөн карбоны вулканоген тунамал чулуулгийн өгөршлөөр үүссэн байдаг (Hendrix et al., 2001; Johnson et al., 2008).



**Зураг 8. Дунд юрын Оргилохбулаг, дээд юрын Шархотгор формацийн элсэн чулууны дээжийг (a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ба TiO<sub>2</sub> диаграмм дээр; (б) Th/Sc ба Zr/Sc диаграмм дээр; (в) Ti/Zr ба La/Sc диаграмм дээр; (г) La/Th ба Hf диаграмм дээр буулгасан нь. Диаграммуудаас харахад дээжүүд хүчиллэг болон дундлаг найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүсжээ. Дээжийн Zr/Sc агуулга ихсэн байгаа нь илүү хөгшин тунамал чулуулгийн өгөршлийн бүтээгдэхүүн агуулагдаж буйг илтгэнэ.**

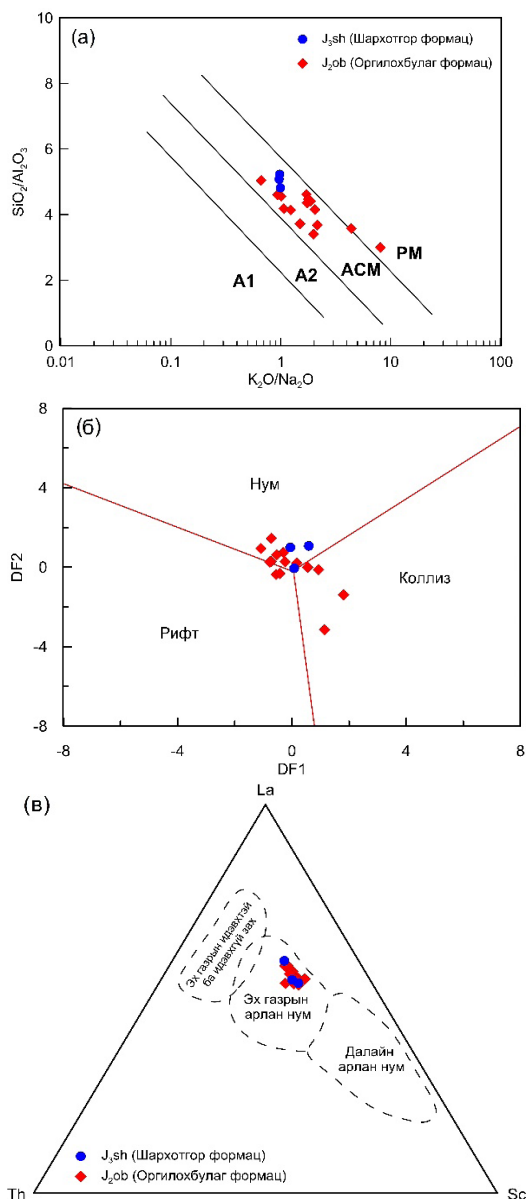
### 5.3. Тектоник

Тунамал чулуулагт агуулагдаж буй гол ислийн болон ховор элементийн найрлага дээр тулгуурлан хурдас хуримтлалын тектоник орчныг тодорхойлох боломжтой (Bhatia, 1983; Bhatia & Crook, 1986; Roser & Korsch 1986, Kiminami et al., 1992; Kumon and Kiminami, 1994). Эдгээр аргууд нь төрөл бүрийн тектоник нөхцөлд үүсэх магмын чулуулгийн найрлага ялгаатай тул тэдгээрийн өгөршлөөр үүсэх тунамал чулуулгийн химийн найрлага эх чулуулагтайгаа төстэй байдаг тулгуурладаг. Тектоникийн горимыг тодорхойлох диаграммуудыг анх зохиохдоо ашигласан дээжийн тоо цөөн байсан, голчлон зүүн Австралийн дээжүүд байсан, диагенезийн үед зарим элементүүдийн найрлага өөрчлөгддөг зэрэг шалтгаануудаас хамааран дээрх диаграммууд тунамал чулуулгийн хуримтлагдсан тектоникийн нөхцлийг тэр бүр зөв тайлж чаддаггүй (Armstrong-Altrin and Verma, 2005; Verma and Armstrong-Altrin, 2013, 2016; Chen and Robertson, 2020). Гэхдээ хэрэв дээж зөв авагдсан, хувирал өөрчлөлтөнд өртөөгүй бол эдгээр диаграммуудыг тайлалтанд ашиглаж болно (жбэл, Purevjav and Roser, 2012; Lowen et al., 2018; Mohammedyasin and Wudie, 2019). Сүүлийн жилүүдэд олон тооны дээжийн үр дүнд статистик боловсруулалт хийж, тектоник нөхцлийг тодорхойлох шинэ дискриминацийн диаграммууд хийгдэж байна. Verma and Armstrong-Altrin (2013) зохиосон диаграмм нь үндсэн 10 ислийг ашиглаж, арлан нум, эх газрын рифт, коллиз гэсэн 3 тектоникийн горимыг тодорхойлно.  $SiO_2$ -ийн их болон бага агуулгатай дээжинд зориулсан хоёр диаграммаас бүрдэнэ. Тунамал чулуулгийн хуримтлалын орчныг тодорхойлох эдгээр диаграммууд нь зарим тохиолдолд тунамал чулуулаг хуримтлагдсан тектоникийн нөхцлийг биш харин тухайн тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийн тектоникийн горимыг заах тохиолдол гардгийг анхаарах ёстой (Verma and Armstrong-Altrin, 2013, 2016; Chen and Robertson, 2020).

Судалж буй дээжийг  $K_2O/Na_2O$  болон

$SiO_2/Al_2O_3$  диаграммд буулгахад эх газрын идэвхтэй захын нөхцлийг, ховор элементийн Sc-La-Th диаграммд эх газрын нумын нөхцлийг тус тус зааж байна (Зураг 9а,б). Судалгааны дээжүүдийн хувьд нэгээс бусад дээж нь цахиурын их агуулгатай ( $SiO > 63\%$ ) хамаарч байгаа тул Verma and Armstrong-Altrin (2013) дискриминацийн диаграммын зөвхөн  $SiO_2$  өндөр агуулгатай дээжинд зориулсан диаграммыг байгуулав (Зураг 9в). Диаграммд дээжүүдийн дийлэнх арлан нумын талбайд, үлдсэн цөөнх нь коллизийн талбайд буужээ. Өмнөд Монголын хэмжээнд девон-карбоны үед арлан нумууд хөгжиж байсан (Lamb and Badarch, 2001, Yang et al., 2016) ба карбоны төгсгөлөөс эх газрын царцдас үүсэж, дунд пермд их хэмжээний нүүрс агуулсан эх газрын тунамал хурдас хуримтлагдсан байдаг (Бат-Эрдэнэ, 1991; Badarch et al., 2002; Johnson et al., 2008; Erdenetsogt et al., 2009; Guy et al., 2014). Иймд дээрх диаграммууд нь судалгаанд хамрагдсан дээжүүд арлан нум, эх газрын идэвхтэй захад үүссэн чулуулгийн угаагдлаас үүссэн болохыг зааж байна. Нарийнсухайтын нүүрсэн дэх үнсний химийн найрлагын судалгаагаар уг нүүрс коллизийн нөхцөлд хуримтлагдсан болох нь батлагддаг (Батгэрэл нар, энэ дугаарт). Өөрөөр хэлбэл дунд болон дээд юрын тунамал хурдас нь арлан нум, эх газрын идэвхтэй захын нөхцөлд үүссэн чулуулгийн өгөршлөөр, коллизийн форланд хотгорт хуримтлагджээ.

Триасын үед өмнөд Хятадын блок-Чинлин-Кунлун Шан Азитай коллизд орсон ба үүний нөлөөгөөр олон тооны форланд савууд үүссэн (Sengor et al., 1993; Zhou and Graham, 1996; Graham et al., 1993). Ийм савуудын нэг нь Нарийнсухайт хотгорын зүүн хойно байрлах Ноёнгийн форланд хотгор юм. Юрын үед өмнөөс хойш чиглэсэн шахалтын нөлөө улам эрчимжихэд, Ноёнгийн хотгор атираажилтанд өртсөн байдаг (Dumitru and Hendrix, 2001; Hendrix et al., 2001). Энэ үед Нарийнсухайтын форланд хотгор үүссэн байна.



**Зураг 9. Тектоник орчин тодорхойлох дискриминацийн диаграммууд дээр дунд болон дээд юрын дээжүүдийг буулгасан нь. (а)  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  болон  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  диаграмм. ACM- эх газрын идэвхтэй зах, PM-идэвхгүй зах, A1-арлан нум, A2- хөгжсөн нум (Roser & Korsch, 1986); (б) La-Sc-Th диаграмм (Bhatia & Crook, 1986), (в)  $\text{SiO}_2$  өндөр агуулгатай дээжинд зориулсан олон хэмжээст диаграмм (Verma and Armstrong-Altrin, 2013).**

Тасралтгүй үргэлжилсэн шахалтын нөлөөгөөр дунд-хожуу юрын үед, карбоны вулканоген-тунамал болон интрузив чулуулаг, мөн перм, триасын тунамал хурдас өргөгдөн өгөршилд орж, Нарийнсухайтын хотгорт хуримтлагдсан байна.

Шахалт юрын төгсгөл хүртэл үргэлжилсэн бөгөөд хожуу юраас тэлэлтийн горимд шилжсэн гэж үздэг (Lamb et al., 2008; Graham et al., 2001).

## 6. ДҮГНЭЛТ

Нарийнсухайт нүүрсний ордод өрөмдсөн цооногоос дээжилсэн дунд болон дээд юрын нүүрс агуулагч элсэн чулууны 18 дээжинд хийсэн геохимийн судалгаагаар тунамал чулуулгийн эх үүсвэр, хурдас хуримтлалын орчин болон тунамал савын тектоникийн горимыг тодорхойллоо. Судалгаагаар дараах дүгнэлтийг хийж байна. Үүнд,

1. Дунд, дээд юрын тунамал чулуулаг нь эх газрын арлан нум, эх газрын идэвхтэй захад үүссэн дундлаг болон хүчиллэг найрлагатай чулуулгаас голчлон үүсчээ. Мөн тунамал чулуулаг бага хэмжээгээр оролцсон байна. Нарийнсухайт орчим өргөнөөр тархсан доод карбоны Тост формацийн вулканоген-тунамал чулуулаг, Бажуун бүрдлийн интрузив, пермийн Тогоотхар формац, триасын Ноён формацийн тунамал чулуулгийг хамгийн боломжит эх үүсвэр гэж үзэж байна.
2. Дунд юрын хурдсын судлагдсан зүсэлтийн доод хэсэгт элсэн чулууны CIA болон C-утга өндөр байх ба их зузаантай нүүрсний давхраас хуримтлагдсан байна. Энэ нь тухайн хурдас хуримтлагдаж байх үед уур амьсгал дулаан, чийглэг байж, тэжээгч мужид өгөршлийн эрчим өндөр байсныг харуулна. Зүсэлтийн дунд хэсэгт уур амьсгал харьцангуй сэрүүн

- болсон бөгөөд зүсэлтийн дээд хэсэгт дахин уур амьсгал чийглэг дулаан болж, нүүрс хуримтлагджээ. Дээд юрын хурдсын CIA болон C-утга эрс багассан тул энэ үед уур амьсгал өөрчлөгдөн, хуурай, сэрүүн болсон гэж үзэв. Rb/Sr, REE агуулгын өөрчлөлт энэ тайлалттай нийцэж байна.
3. Дунд юрын хурдас хүчилтөрөгчийн агуулга өндөр, бага гүнтэй усан санд хуримтлагдсан болох нь сарнимал элементийн харьцаагаар (Th/U, Ni/Co, V/Cr) тодорхойлогдоно. Усан сангийн давсжилт бага, цэнгэг байсан боловч уур амьсгал өөрчлөгдөн, хуурайших үед давсжилтийн хэмжээ нэмэгдэж байв.
  4. Дунд юрын нүүрс агуулсан тунамал хурдас нь триасаас эхлэн, юрын үед эрчимжсэн шахалтын нөлөөгөөр үүссэн форланд хотгорт хуримтлагдсан байна.
- судалгааны үрдүн. Геологийн асуудлууд 17 (519), 112-123.
- Armstrong-Altring JS., Verma, SP., 2005, Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings. *Sedimentary Geology* 177, 115–29.
- Badarch, G., Cunningham, W.D., Windley, B.F., 2002. A new terrain subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences* 21, 87–110.
- Badarch, G., 2005. Tectonics of South Mongolia. In: Seltmann, R., Gerel, O., Kirwin, D. (Eds.), *Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits*. London, pp. 119–129.
- Batbold., D., Jargal L., Munkhtsengel B., Nansalma D., 2018. Petrography and geochemistry of Middle Permian Tavantolgoi formation, Baruunnaran coal deposit, southern Mongolia. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 20, EGU2018-11421, EGU General Assembly.
- Bhatia M. R. & Crook K. A. W. 1986. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 92, 181–93.
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology* 91, 611–627
- Cao, H., Guo, W., Shan, X., Ma, L., Sun, P., 2015. Paleolimnological environments and organic accumulation of the Nenjiang Formation in the southeastern Songliao Basin, China, *Oil Shale* 32 (1), 5–24.
- Cao, J., Wu, M., Chan, Y., Hu, K., Bian, L.Z., Wang, L.G., Zhang, Y., 2012. Trace and rare earth elements geochemistry of Jurassic mudstones in the northern Qaidam basin, northwest. China. *Chemie der Erde* 72, 245–252.
- Chen, J., An, Zh., Head, J., 1999. Variation of Rb/Sr Ratios in the Loess-Paleosol Sequences of Central China during the Last

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- Баатархуяг А., Алтанцэцэг. Уранбилэг.Л., Байгалмаа. Н., 2010. Нарийнсухайтын нүүрсний ордын насны шинэ мэдээлэл. *Хайгуулчин*. 1. 81-83.
- Баатархуяг А., Алтанцэцэг. Д., Ичинноров. Н., 2012. Нарийнсухайтын чулуунүүрсний ордын эртний ургамал, үр тоосонцрын талаарх шинэ мэдээллээс. *Хайгуулчин*. 46. 192-199.
- Баатархуяг А., Алтанцэцэг Д., Байгалмаа Н., Болормаа Б., 2021. Нарийнсухайт хотгорын геологийн тогтоц. *Геологи судлал* 25, 91-119
- Бат-Эрдэнэ, 2009. Монголын нүүрсний орд, савууд. Д.Бат-Эрдэнэ (ред.) Шатах ашигт малтмал. Монголын геологи ба ашигт малтмал цуврал. Соёмбо принтинг. х.27-175.
- Болормаа Э., Эрдэнэцогт Б., Нансалмаа Д., Жаргал Л., Байгалмаа Н., Бат Б., 2019. Дунд пермийн Тавантолгой формацийн элсэн чулууны петрографи, геохимийн



- 130,000 Years and Their Implications for Monsoon Paleoclimatology. *Quaternary Research* 51, 215-219.
- Chen, G., Robertson, A., 2020. User's guide to the interpretation of sandstones using whole-rock chemical data, exemplified by sandstones from Triassic to Miocene passive and active margin settings from the Southern Neotethys in Cyprus. *Sedimentary Geology* 400, 105616.
- Cullers, R.L., 1995. The controls on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, USA. *Chem. Geol.* 123, 107-131.
- Dumitru, T., Hendrix, M., 2001. Fission-track constraints on Jurassic folding and thrusting in southern Mongolia and their relationship to the Beishan thrust belt of northern China. In Hendrix, M.S., and Davis, G.A., *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation: Geological Society of America Memoir* 194, p. 215-229.
- Erdenetsogt B., Jargal L., 2021. Coal Deposits. In: Gerel O., Pirajno F., Batkhishig B., Dostal J. (eds) *Mineral Resources of Mongolia. Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, vol 19. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5943-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5943-3_14)
- Erdenetsogt, B., Lee, I., Bat-Erdene, D., Jargal, L., 2009. Mongolian coal-bearing basins: Geological settings, coal characteristics, distribution, and resources. *International Journal of Coal Geology* 80, 87-104.
- Floyd, P., Leveridge, B., 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *J. Geol. Soc.* 144, 531-542
- Graham, S.A., Hendrix, M.S., Wang, L.B., and Carroll, A.R., 1993. Collisional successor basins of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition: *Geological Society of America Bulletin*, v. 105, p. 323-344.
- Graham, S.A., Hendrix, M.S., Johnson, C.L., Badamgarav, D., Badarch, G., Amory, J., Porter, M., Barsbold, R., Webb, L.E., Hacker, B.R., 2001. Sedimentary record and tectonic implications of Mesozoic rifting in Southeast Mongolia. *Geological Society of America Bulletin* 113, 1560-1579.
- Hayashi, K.I., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohmoto, H., 1997. Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 4115-4137.
- Hendrix, M., Beck, M., Badarch, G., and Graham, S., 2001. Triassic synorogenic sedimentation in southern Mongolia: Early effects of intracontinental deformation, in Hendrix, M.S., and Davis, G.A., eds., *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation: Geological Society of America Memoir* 194, p. 199-214.
- Hendrix, M.S., Graham, S.A., Amory, J.Y., Badarch, G., 1996. Noyon Uul Syncline, southern Mongolia; lower Mesozoic sedimentary record of the tectonic amalgamation of Central Asia. *Geological Society of America Bulletin* 108, 1256-1274.
- Herron, M.M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sediment. Res.* 58, 820-929.
- Hasegawa, H., Ando, A., Hasebe, N., Ichinnorov, N., Ohta, T., Hasegawa, T., Yamamoto, M., Li, G., Erdenetsogt, B.O., Heimhofer, U., Murata, T., Shinya, H., Enerel, G., Oyunjargal, G., Munkhtsetseg, O., Suzuki, N., Irino, T. and Yamamoto, K., 2018. Depositional ages and characteristics of Middle-Upper Jurassic and Lower Cretaceous lacustrine deposits in southeastern Mongolia. *Island Arc*. 2018; 27: e12243.
- Johnson, C.L., Amory, J., Zinniker, D., Lamb, M., Graham, S., Affolter, M., and Badarch,

- G., 2008, Sedimentary response to arc-continent collision, Permian, southern Mongolia, in Draut, A.E., Clift, P.D., and Scholl, D.W., eds., *Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones: Geological Society of America Special Paper 436*, p. 363–390, doi:10.1130/2008.2436(16)
- Johnson, C.L., Constenius, K.C., Graham, S.A., Mackey, G., Menotti, T., Payton, A., Tully, J., 2015. Subsurface evidence for late Mesozoic extension in Western Mongolia: tectonic and petroleum systems implications. *Basin Research* 27, 272–294.
- Kiminami, K., Kumon, E., Nishimura, T., Shiki, T., 1992. Chemical composition of sandstones derived from magmatic arcs. *Mem. Geol. Soc. Japan* 38, 361–372.
- Kostina, E., Herman, A., 2013. The Middle Jurassic flora of South Mongolia: Composition, age and phytogeographic position. *Review of Palaeobotany and Palynology* 193, 82–98.
- Kumon and Kiminami, 1994. Modal and chemical compositions of the representative sandstones from the Japanese Islands and their tectonic implications. *Proc 29<sup>th</sup> Intl., Geol. Cong. Part A*, 135–151.
- Lamb, M.A., Badarch, G., 2001. Paleozoic sedimentary basins and volcanic arc systems of southern Mongolia: new geochemical and petrographic constraints. In: Hendrix, M.S., Davis, G.A. (Eds.), *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia — From Continental Assembly to Intracontinental Deformation: Geological Society of America Memoir*, vol. 194, pp. 117–150.
- Lamb, M.A., Badarch, G., 1997. Paleozoic sedimentary basins and volcanic-arc systems of southern Mongolia: new stratigraphic and sedimentologic constraints. *International Geology Review* 39, 542–576.
- Lamb, M.A., Badarch, G., Navratil, T., Poier, R., 2008. Structural and geochronologic data from the Shin Jinst area, eastern Gobi Altai, Mongolia: Implications for Phanerozoic intracontinental deformation in Asia. *Tectonophysics* 451, 312–330.
- Lowen, K., Meinhold, G., Ёнгур, Т., 2018. Provenance and tectonic setting of Carboniferous–Triassic sandstones from the Karaburun Peninsula, western Turkey: A multi-method approach with implications for the Palaeotethys evolution. *Sedimentary Geology* 375, 232–255.
- McLennan, S.M., 1993. Weathering and global denudation. *J. Geol.* 101, 295–303.
- McLennan, S. M., Taylor, S. R., McCulloch, M. T., and Maynard, J. B., 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic association: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 54, p. 2015–2050.
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Geological Society of America Special Papers* 284, 21–40.
- Mohammedyasin, M., Wudie, G., 2019. Provenance of the Cretaceous Debre Libanos Sandstone in the Blue Nile Basin, Ethiopia: Evidence from petrography and geochemistry. *Sedimentary Geology* 379, 46–59.
- Nesbitt H. W. & Young G. M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715–17.
- Nesbitt H. W. & Young G. M. 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1523–1534.
- Nesbitt H.W., Fedo C. M. & Young G. M. 1997. Quartz and feldspar stability, steady and non-steady-state weathering, and petrogenesis of siliciclastic sands and muds. *Journal of Geology* 105, 173–91.
- Fedo C. M., Nesbitt H. W. & Young G.

- M. 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921–4.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1972. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York (553 pp).
- Purejav, N., Roser, B.P., 2012. Geochemistry of Devonian–Carboniferous clastic sediments of the Tsetserleg terrane, Hangay Basin, Central Mongolia: provenance, source weathering, and tectonic setting. *Island Arc* 21, 270–287.
- Roser B. P. & Korsch R. J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone and mudstone suites using SiO<sub>2</sub> and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *Journal of Geology* 94, 635–50.
- Roser B. P. & Korsch R. J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discrimination function analysis of major element data. *Chemical Geology* 67, 119–39.
- Roser B. P., 2000. Whole-rock geochemical studies of clastic sedimentary suites. *Memoirs of the Geological Society of Japan* 57, 73–89.
- Rudnick R. L., Gao S., 2005. Composition of the continental crust. In Rudnick R. L. (ed.) *The Crust, Treatise on Geochemistry*, 3, pp. 1–64, Elsevier–Pergamon, Oxford.
- Sengor, A.M.C., Natal'in, B.A., Burtman, V.S., 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. *Nature* 364, 299–307.
- Sjostrom, D.J., Hendrix, M.S., Badamgarav, D., Graham, S.A., Nelson, B.K., 2001. Sedimentology and provenance of Mesozoic nonmarine strata in western Mongolia; a record of intracontinental deformation. In: Hendrix, M.S., Davis, G.A. (Eds.), *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia—From Continental Assembly to Intracontinental Deformation: Geological Society of America Memoir*, vol. 194, pp. 361–388.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific Publications, United States (312 pp).
- Verma, S.P., Armstrong-Altrin, J.S., 2013. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chemical Geology* 355, 117–133.
- Verma, S.P., Armstrong-Altrin, J.S., 2016. Geochemical discrimination of siliciclastic sediments from active and passive margin settings. *Sediment. Geol.* 332, 1–12.
- Zhao, Z.Y., Zhao, J.H., Wang, H.J., Liao, J.D., Liu, C.M., 2007. Distribution characteristics and applications of trace elements in Junggar Basin. *Nat. Gas Explor. Dev.* 30, 30–33 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, D., and Graham, S.A., 1996. Songpan-Ganzi complex of the west Qinling Shan as a Triassic remnant-ocean basin, in Yin, A., and Harrison, M., eds., *Tectonic evolution of Asia: Cambridge*, Cambridge University Press, p. 281–299.
- Wang, Sh., Dong, D., Wang, Y., Li, X., Huang, J., Guan, Q., 2016. Sedimentary geochemical proxies for paleoenvironment interpretation of organic-rich shale: A case study of the Lower Silurian Longmaxi Formation, Southern Sichuan Basin, China. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 28, 691–699.