

СУДАЛГААНЫ ӨГҮҮЛЭЛ

ДУНД-ДЭЭД ЮРЫН ХУЖИРТ ОРДЫН НҮҮРСНИЙ ГЕОХИМИЙН СУДАЛГАА: ХОЙД МОНГОЛЫН ЮРЫН УУР АМЬСГАЛ, ГЕОДИНАМИКИЙН НӨХЦЛИЙН АСУУДАЛ

Б.Эрдэнэцогт^{1*} | Н.Байгалмаа¹ | А.Эрдэнэ² |

¹ МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Геологи, геофизикийн тэнхим

² Эрдгео ХХК

Abstract

Хүлээн авсан: 2022-01-10

Засварлагдсан: 2022-01-18

Зөвшөөрөгдсөн: 2022-01-19

Түлхүүр үг:

юра, нүүрс, сарнимал элемент, үндсэн исэл, тектоник, форланд

Харилцах зохиогч:

Б.Эрдэнэцогт МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Геологи, геофизикийн тэнхим

Имэйл: tsogo@num.edu.mn

Khujirt is a syncline that hosts Jurassic coal deposit in Northern Mongolia. Nine coal samples collected from exploration borehole were selected for analyses of major oxide and trace elements of coal ash. The average value of CAI for the samples is 82.8, reflecting intensive weathering in the source area. The plotted data on A-CN-K diagram displays that rocks in coal were sourced mainly from Early Permian andesite and basalt and Early Paleozoic granodiorite, which borders Khujirt syncline. It is also supported by Al_2O_3/TiO_2 (avg. 18.4) and Ti/Zr (avg. 37.1) ratios. To infer tectonic setting, two multi-dimensional discrimination diagrams were used. The results suggest that the tectonic setting of Khujirt was foreland basin that was probably formed by closure of Mongol-Okhotsk Ocean. Low Rb/Sr (0.02-0.04) and high Sr/Cu (13.8-30.6) ratios of the studied samples indicate that arid climate condition was dominant during the deposition of Khujirt peat accumulation. This conclusion is supported by C-values. Due to arid condition, salinity was high, reflected by substantially high Sr/Ba ratio varying from 1.7 to 2.7.

1. ОРШИЛ

Орхон-Сэлэнгийн нүүрстэй талбайд багтах дунд-дээд юрын Хужирт орд нь уг талбайн хэмжээнд сүүлийн жилүүдэд шинээр нээгдэн, хайгуул хийгдсэн томоохон нүүрсний орд юм (Жаргал нар, 2017). 2017 онд уг ордын нөөцийг 372 сая гэж тооцжээ (Дашхорол нар, 2017). Орхон-Сэлэнгийн талбайн зүүн хойд хэсэгт юрын нүүрс агуулсан хэд хэдэн хотгорууд бий. Эдгээр хотгоруудыг дүүргэсэн юрын тунамал хурдсын геохимийн судалгааг нарийвчлан хийх нь Монгол-Агнуурын далай хаагдах үеийн геотектоникийн нөхцлийг сэргээн босгоход чухал үүрэгтэй болно. Нөгөө талаас юрын нүүрс нь петрографийн найрлагын хувьд ихээхэн онцлог тул үйлдвэрлэлийн хувьд онцгой сонирхол татна (Erdenetsogt et al., 2009; Erdenetsogt and Jargal, 2021).

Тунамал чулуулгийн геохимийн судалгаагаар тунамал савын

геодинамикийн нөхцөл, тэжээгч (өгөршлийн) мужийн химийн өгөршлийн эрчим, уур амьсгал, тунамал чулуулгийн эх үүсвэр зэргийг тодорхойлдог (Roser, 2000; Chen and Robertson, 2020; Байгалмаа нар, 2021). Нүүрсний үнс нь хүлэрт намагт зөөгдөн ирж, хүлэрт хуримтлагдсан хурдас болно. Өөрөөр хэлбэл үнсний химийн найрлага нь нүүрсний үеийн дээр болон доор хуримтлагдсан агуулагч чулуулагтай төстэй найрлагатай. Иймд үнсний химийн найрлага болон сарнимал элементийн судалгааны үр дүнг тунамал чулуулгийн геохимийн судалгаатай ижлээр ашиглаж болно (Bai et al., 2015; Батгэрэл нар, 2021). Нүүрсний ордын эрэл хайгуулын үед их хэмжээний мэдээлэл цуглардаг боловч тэдгээрийг голчлон нүүрсний чанарыг тодорхойлоход ашиглаж байна. Хайгуул нь ихээхэн зардлаар хийгддэг тул, хайгуулын үед цугларсан мэдээллийг зөвхөн нүүрсний чанарын өөрчлөлтийн зүй тогтолыг тодорхойлохоор хязгаарлалгүй, геологийн

бусад судалгаанд ашиглахыг зорих нь зүйтэй юм (Батгэрэл нар, 2021).

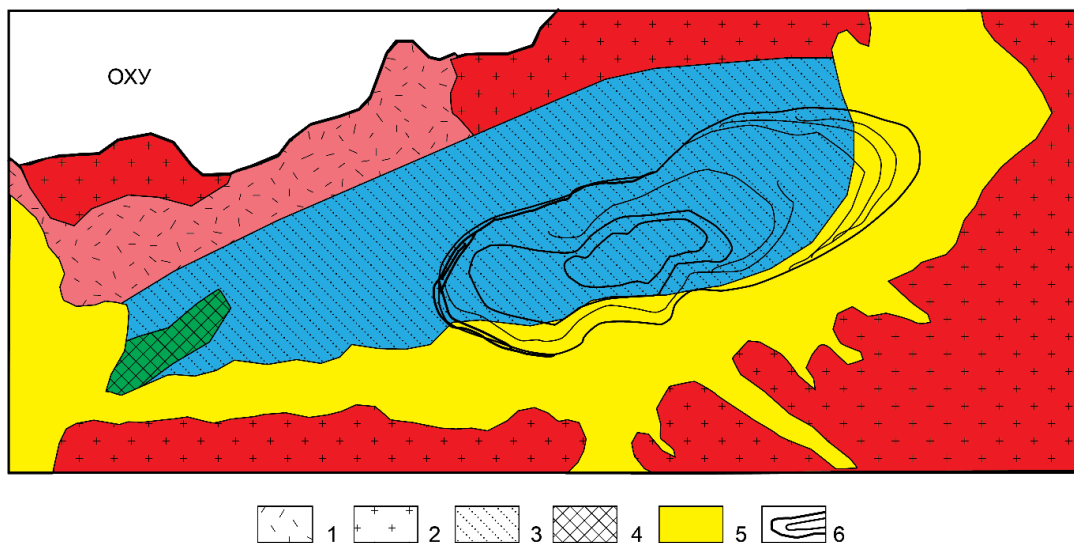
Энэ өгүүлэлт дунд-дээд юрын Хужирт ордын хайгуулын үед хийгдсэн, нүүрсний дээжийн геохимийн шинжилгээнд боловсруулалт хийж, үр дүнг үзүүлэв. Судалгааны зорилго нь хүлэр хуримтлалын орчин, эртний уур амьсгал, нүүрс агуулагч тунамал чулуулгийн эх үүсвэр, тунамал савын геодинамикийн нөхцөлийг сэргээн босгох юм. Уг өгүүлэл нь нүүрсний үнсний химийн шинжилгээний үр дүнг ашиглан, нүүрс агуулсан тунамал савын эртний уур амьсгал, геодинамикийн нөхцөлийг сэргээн босгож буй цуврал ажлуудын нэг болно.

2. ХУЖИРТ ОРДЫН ГЕОЛОГИЙН ТОГТОЦ, НҮҮРСЖИЛТ

Хужирт орд нь Сэлэнгэ аймгийн Түшиг сумын нутагт, Орхон-Сэлэнгийн нүүрстэй талбайд байрлана. Орд Түшиг сумын төвөөс зүүн тийш 15 км, Улаан-Овоогийн нүүрсний уурхайгаас зүүн тийш 25 км-д, Хужирын голын хөндийд байрлана.

Зэлтэр боомтоос 8 км, ОХУ-ын хилээс 4 км, Шаамар өртөөнөөс 100 км, Сэлэнгэ аймгийн төвөөс 120 км зайтай.

Ордын урд болон хойд хэсгээр дунд түрүү палеозойн Зэд бүрдлийн интрузив чулуулаг, ордын баруун болон баруун хойд хэсгээр доод пермийн Хануй группийн вулканоген чулуулаг тархана. Төв хэсгээр дунд-дээд юрын нүүрс агуулсан Шарынгол формац илрэх бол ордын баруун хэсэгт багахан талбайд неогений базальт тогтоогдсон. Дөрөвдөгчийн сэвсгэр хурдас ордын баруун, өмнөд, зүүн хойд өмнөд хэсгээр нилээд өргөн тархалттай (Зураг 1). Түрүү палеозойн Зэд бүрдлийн дунд мөхлөгтэй гранодиорит, биотитот гранит, плагиогранитын биетүүд доод пермийн Хануйн группийн вулканоген-тунамал хурдсаар хучигдана. Орд орчим тархсан доод пермийн Хануйн групп (P_1hn)-ийн хурдас нь голчлон андезитаас бүрдэнэ. Дунд-дээд юрын Шарынгол формацын тунамал хурдсаар үл нийцлэгээр хучигдана.



Зураг 1. Хужирт ордын геологийн схем. 1-доод пермийн Хануй групп, 2-Түрүү палеозойн Зэд бүрдлийн интрузив, 3-дунд-дээд юрын Шарын гол формац, 4-неогений базальт, 5- дөрөвдөгчийн сэвсгэр хурдас, 6-нүүрсний гарш (Жаргал нар, 2017-с авав).

Дунд-дээд юрын Шарынгол формацын нүүрс агуулсан хурдсын нийт зузаан 527 м бөгөөд 3 мэмбэрт хуваагдана (Жаргал нар, 2017). Доод мэмбэр нь

конгломерат, гравелит, элсэн чулуунаас тогтоно. Хайгуулын цооногуудад бүтэн огтлогдоогүй. Бүрэн зүсэлт нь Улаан-Овоо ордын цооногуудад илэрсэн бөгөөд

зузаан нь ойролцоогоор 200 м байна. Нүүрс агуулагч дунд мэмбэр нь саарал өнгийн жижиг, дунд, том ширхэгт элсэн чулуу, алевролит, 5 нүүрсний давхраас агуулна. Хайгуулын цооногт огтлогдсон зузаан нь 187м. Дээд мэмбэр нь хар саарал өнгийн нэг төрлийн аргиллитаас бүрдэнэ. Мэмбэрийн зүсэлтийн дээд хэсэгт алевролит, элсэнчулуу, зүсэлтийн доод хэсэгт саарал өнгийн жижиг, дунд ширхэгт элсэн чулуу тогтоогдоно. Дээд мэмбэрийн бүрэн зузаан Улаан-Овоо нүүрсний орд дээр илэрсэн бөгөөд нийт зузаан нь 140м. Дунд-дээд юрын Шарынгол формаци неогений базальт, дөрөвдөгчийн хурдсаар үл нийцлэгээр хучигдана. Дөрөвдөгчийн хурдсын зузаан 50 м хүрнэ. Нүүрс агуулагч дунд-дээд юрын Шарынгол формацийн хурдас зүүн хойш суналтай,

9 км урт, 3 км өргөн брахисинклиналь атираа үүсгэнэ (Жаргал нар, 2017). Хайгуулын цооногт ямар нэг тасралтат эвдрэл, тектоник хагарал тогтоогдоогүй, энгийн тогтоцтой. Ордын хэмжээнд 0.1-23.95 м зузаантай доороос дээш 1, 2, 3, 4, 5 гэж дугаарласан, нүүрсний таван давхраас тогтоогдсон. Хамгийн доод талын 1-р давхраасаас бусад давхраасууд үйлдвэрлэлийн ач холбогдолтой. Нүүрсний давхраас ордын баруунаас зүүн тал руу салаалж, зузаан нь багасана. 2-р давхраас ордын зүйн хойд хэсэгт 2 салаалж, 2-1, 2-2 багц үүсгэнэ. Бусад давхраас багц үүсгэхгүй. Нүүрсний давхраасын унал гарш орчимдоо 11-15° бол гүн рүүгээ аажим багасаж 0-5° болно. Нүүрсний чанарын үзүүлэлт, давхраасын дундаж зузааныг Хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Хужирт ордын чанарын дундаж үзүүлэлт (Жаргал нар, 2017)

Давхраасын дугаар	Давхраасын дундаж зузаан, м	Чийг, % (ar)	Үнс, % (ad)	Дэгдэмхийн гарц, % (daf)	Илчлэг, ккал/кг (ar)	Нийт хүхэр, % (d)	Дээжийн тоо, ш
2-1	5.7	4.8	11.7	43.4	4580	1.0	91
2-2	12.6	5.0	12.9	45.5	4413	1.0	216
3	7.8	5.4	15.9	44.8	4019	0.9	115
4	3.9	5.2	14.8	45.5	4105	1.0	34
5	3.5	6.2	12.4	45.2	4040	1.1	10

3. ДЭЭЖ БА СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Хужирт ордод 2014-2015 оны хооронд гүйцэтгэсэн хайгуулын ажлын явцад 113-250 м гүнтэй, 35 цооног өрөмдөж, 483 дээж авч, нүүрсний техникийн задлан шинжилгээ хийсэн. Эдгээрээс сонгож авсан 9 дээжинд петрографи, витринитийн ойлтын үзүүлэлт, үнсний химийн найрлага, үнсэн дэх сарнимал элементийн агуулга зэрэг нарийвчилсан шинжилгээг нэмж гүйцэтгэсэн байна. Энэ өгүүлэлд 2 цооногоос авсан, дээрхи 9 дээжийн үнсний химийн найрлага болон сарнимал элементийн үр дүнг ашиглав (Хүснэгт 2, 3). Үнсний химийн найрлага, сарнимал элементийн агуулгыг Геологийн төв лабораторид XRF, ICP-MS ашиглан тодорхойлсон.

Хүснэгт 3-т шатаалтын хорогдлыг хасаж нормчилсон үндсэн ислийн агуулгыг үзүүлэв. Уг хүснэгтэд нормчлоход ашигласан утгыг (нормчлох утга) оруулав. Уг утгыг ашиглан сарнимал элементүүдийг мөн нормчилсон болно.

Өгүүллэгт, химийн өөрчлөлтийн индекс (CIA)-ийг тооцсон. Үүнд $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO^*)] \times 100$ томъёог ашигласан (Nesbitt and Young, 1982). Энэ томъёон дахь CaO^* нь силикат чулуулаг дахь CaO -гийн хэмжээ юм. Тунамал чулуулаг хоёрдогч кальцитаар баяжих нь түгээмэл тул дээжинд тодорхойлогдсон нийт CaO -гийн агуулгад засвар хийх ёстой. Нийт CaO -гийн агуулгад McLennan (1993) аргаар засвар хийж, CaO^* тооцсон.

Мөн нүүрс агуулсан тунамал хурдас хуримтлагдсан тектоник нөхцлийг

тодорхойлохдоо Verma and Armstrong-Altrin (2013) нарын дискриминацийн 2 диаграммыг ашигласан. Эдгээр 2 диаграмм нь SiO₂-ийн их (63-95%) болон бага (35-63%) агуулгатай дээжинд зориулагдсан

диаграммууд болно. Диаграммуудыг байгуулахдаа үндсэн 10 ислийн шатаалтын хорогдлыг хасаж, нормчилсон утгуудыг ашигладаг.

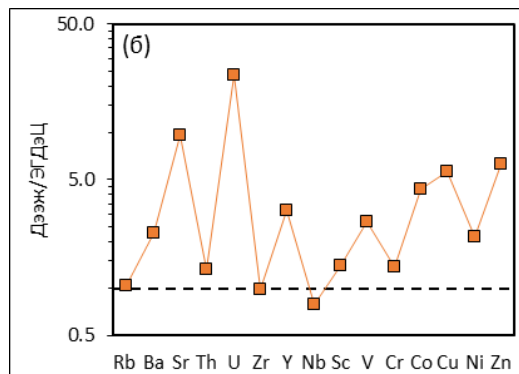
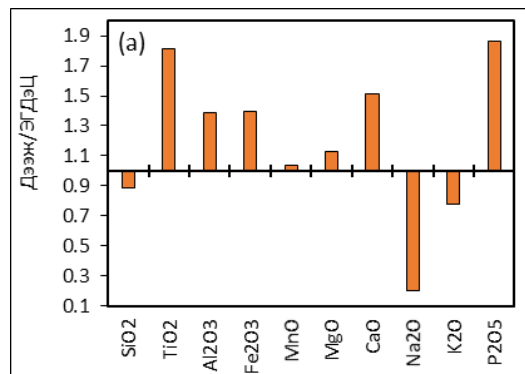
Хүснэгт 2. Дээжийн мэдээлэл (Жаргал нар, 2017)

Дээжийн дугаар	Давхраасын дугаар	Дээж авсан гүн, м	Дээжийн зузаан, м
DH12-1	V	17.0-19.0	2.0
DH12-3	IV	42.3-43.7	1.4
DH12-7	III	103.1-104.7	1.6
DH12-13	II-2	157.8-159.6	1.8
DH 12-18	II-1	183.9-187.3	3.4
DH10-2	IV	60.8-62.4	1.6
DH10-6	III	110.3-111.2	0.9
DH10-12	II-2	167.5-168.7	1.2
DH 10-22	II-1	193.3-195.2	1.9

4.ҮР ДҮН

Дээжин дэх үндсэн исэл болон сарнимал элементийн агуулгыг Хүснэгт 3-д үзүүлэв. Нүүрсний үнсний химийн шинжилгээгээр SiO₂-н агуулга 52.8–64.5% (дундаж 59.0%), Al₂O₃-н агуулга 18.2-24.5% (дундаж 21.3%), TiO₂-ийн агуулга 1.0-1.3% (дундаж 1.2%), K₂O-ийн агуулга 1.6-2.6% (дундаж 2.2%), MgO-ийн агуулга 2.1-3.4% (дундаж 2.8%), Na₂O-ийн агуулга 0.2-1.3% (дундаж 0.7%), CaO-гийн агуулга 1.5-12.2% (дундаж 5.4%) хэлбэлзэж байна (Хүснэгт 3). Дээжүүдийн үндсэн ислийн агуулгын дундажийг эх газрын дээд царцдасын

(ЭГДЭЦ) дундаж утгаар нормчлосныг Зураг 2а-д үзүүлэв. K₂O, Na₂O болон SiO₂ агуулга царцдасын дунджаас бага, Fe₂O₃, CaO, MgO агуулга өндөр байна. Энэ нь дээжинд Fe, Ca болон Mg агуулсан пирит, кальцит, доломит зэрэг эрдсүүд агуулагдаж байгаатай холбоотой байж болно. Жишээлбэл, нүүрсэн дэх нийт хүхрийн агуулга зарим дээжүүдэд 2.0%, ордын дунджаар 1.0 % хүрнэ (Жаргал нар, 2017). Сарнимал элементийн агуулгын дунжийг эх газрын дээд царцдасын (ЭГДЭЦ) дундаж утгаар нормчлосныг Зураг 2б-д үзүүлэв. Зургаас харахад дээж Rb, Zr, Nb-гоос бусад элементүүдээр баяжсан байна.



Зураг 2. Дээжийн үндсэн исэл болон сарнимал элементийн дундаж агуулгыг ЭГДЭЦ-ийн дундаж утгаар нормчилсон нь. ЭГДЭЦ-ийн утгыг Rudnick and Gao (2005) авав.

Хүснэгт 3. Хужирт ордын нүүрсний үнсэн дэх үндсэн исэл болон сарнимал элементийн агуулга

Дээжийн дугаар	DH12-1	DH12-3	DH12-7	DH12-13	DH12-18	DH10-2	DH10-6	DH10-12	DH10-22	Дундаж
SiO ₂	52.8	59.4	57.6	57.7	58.9	57.4	62.8	64.5	60.0	59.0
TiO ₂	1.1	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.1	1.1	1.3	1.2
Al ₂ O ₃	20.6	18.2	18.6	20.1	21.9	24.5	21.1	22.3	24.4	21.3
Fe ₂ O ₃	7.5	8.1	8.3	9.2	7.0	6.8	5.9	5.8	4.8	7.0
MnO	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MgO	3.4	3.1	3.1	3.1	2.9	2.7	2.3	2.1	2.5	2.8
CaO	12.2	7.5	8.2	4.9	3.7	3.7	4.2	1.5	3.1	5.4
Na ₂ O	0.5	0.4	0.9	1.1	1.3	0.5	0.4	0.2	0.7	0.7
K ₂ O	1.6	2.0	1.9	2.3	2.6	2.5	1.9	2.3	2.6	2.2
P ₂ O ₅	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.2	0.2	0.4	0.3
Rb	77.5	72.7	78.6	79.2	90.4	97.2	96.1	110.0	87.8	87.7
Ba	795	1343	1688	1742	1660	1554	1298	943	1750	1419
Sr	2072	3665	4500	3917	2958	2919	3094	1586	3104	3090
Th	26.2	11.2	9.1	10.9	10.6	12.7	19.4	14.4	11.6	14.0
U	433.3	97.3	5.7	5.4	5.3	5.3	5.4	6.2	5.3	63.2
Zr	187.0	143.1	157.3	190.0	228.7	239.8	161.9	163.5	248.7	191.1
Y	158.5	73.8	57.0	46.7	64.9	49.7	58.3	38.1	52.9	66.6
Nb	17.1	6.7	4.6	8.7	8.5	10.6	8.6	9.3	10.6	9.4
Sc	20.5	19.0	18.2	18.5	19.1	21.1	21.6	17.5	21.2	19.6
V	279.4	235.9	248.4	286.6	217.0	274.7	257.9	265.4	260.3	258.4
Cr	149.4	112.9	112.8	110.7	106.4	128.9	144.6	161.5	121.7	127.7
Co	213.2	70.4	58.1	51.0	51.1	53.9	57.2	52.5	67.7	75.0
Cu	133.4	161.0	147.0	131.4	169.2	176.4	158.7	111.1	225.4	157.1
Ni	205.2	74.9	58.1	55.4	60.6	90.9	85.3	162.5	118.5	101.3
Zn	1615	387.9	246.1	261.6	242.6	307.4	200.7	184.1	330.2	419.5
La	77.5	35.8	38.7	47.8	46.8	63.4	50.7	47.3	55.0	51.5
Нормчлох утга	1.14	1.12	1.14	1.09	1.06	1.06	1.08	1.03	1.06	1.1
ClA	85.6	84.4	78.2	76.4	76.0	85.2	88.7	88.2	82.4	82.8
C-утга	0.4	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6	0.9	0.5	0.6
V/Cr	1.9	2.1	2.2	2.6	2.0	2.1	1.8	1.6	2.1	2.1
U/Th	16.5	8.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	3.2
Ni/Co	1.0	1.1	1.0	1.1	1.2	1.7	1.5	3.1	1.8	1.5
Rb/Sr	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.1	0.03	0.03
Sr/Cu	15.5	22.8	30.6	29.8	17.5	16.5	19.5	14.3	13.8	20.0
Sr/Ba	2.6	2.7	2.7	2.2	1.8	1.9	2.4	1.7	1.8	2.2
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	19.5	19.2	17.2	16.7	17.6	18.2	19.0	19.4	18.4	18.4
Ti/Zr	33.8	39.9	41.2	38.0	32.6	33.6	41.0	42.0	32.0	37.1
La/Sc	3.8	1.9	2.1	2.6	2.4	3.0	2.4	2.7	2.6	2.6

5. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

5.1. Эртний уур амьсгал, хүлэр хуримтлалын орчин

Эртний уур амьсгалыг тодорхойлоход

C-утгыг өргөнөөр ашиглаж байна (Zhao et al., 2007; Cao et al., 2012; Moradi et al., 2016; Байгалмаа нар, 2021). Уг аргын үндэс нь чийглэг уур амьсгалд Fe, Mn, Cr, Ni, V, Co зэрэг элементүүд тунадаст баяждаг бол

халуун, хуурай уур амьсгалд Ca, Mg, Sr, Ba, K, Na зэрэг элементүүд эвапоритуудад хуримтлагдана гэдэгт тулгуурлана. C-утгыг $(Fe+Mn+Cr+Ni+V+Co)/(Ca+Mg+Sr+Ba+K+Na)$ гэж тодорхойлох бөгөөд <0.4 бол халуун, хуурай, $0.4-0.8$ бол халуун, хуурай болон дулаан, чийглэг уур амьсгал ээлжилсэн, >0.8 бол дулаан, чийглэг уур амьсгалыг заана гэж үздэг (Cao et al., 2012). Хужиртын дээжийн C-утга $0.4-0.9$ (дундаж 0.6) байгаа нь хүлэр хуримтлагдаж байх үед дулаан, чийглэг болон халуун, хуурай уур амьсгал ээлжилж байсан гэж таамаглаж болохоор байна.

Sr/Cu болон Rb/Sr харьцааг эртний уур амьсгалын сэргээн босголтонд мөн хэрэглэж байна (Cao et al., 2015; Moradi et al., 2016; Song et al., 2018). Халуун, хуурай уур амьсгалтай үед тунадас дахь Sr/Cu ихсэж, Rb/Sr багасана. Дулаан чийглэг уур амьсгалтай үед эсрэгээрээ байна. Хужиртын дээжүүдэд Sr/Cu дунджаар 20 ($13.8-30.6$), Rb/Sr дунджаар 0.03 ($0.02-0.07$) байгаа нь халуун, хуурай уур амьсгалыг илтгэнэ.

Уур амьсгалын өөрчлөлт усан сангийн давсжилтанд нөлөөлнө (Song et al., 2018). Усан сангийн давсжилтыг Sr/Ba харьцаагаар тодорхойлж болно. Энэ нь голын усаар зөөгдөн усан санд орж ирсэн Ba^{2+} эрэг орчимд $BaSO_4$ болж тунадасждаг бол, $SrSO_4$ усанд сайн уусдаг тул давстай усан сангийн төвд тунадасжина. Иймд Sr/Ba <1 бол цэнгэг, >1 бол давстай орчныг заана гэж үзнэ (Cao et al., 2015). Хужиртын дээжин дэх Sr/Ba агуулга $1.7-2.7$ хооронд хэлбэлзэж (дундажаар 2.2) байгаа нь хүлэрт намаг давсжилт ихтэй байсныг заана.

Үүнээс гадна Хужиртын нүүрсний инертинитийн агуулга Орхон-Сэлэнгийн талбайн бусад юрын нүүрстэй харьцуулахад өндөр, дунджаар 16.5% (II-IV давхраасуудад $13.5-22.2\%$) байдаг (Жаргал нар, 2017; Erdenetsogt and Jargal, 2021). Инертинитийн бүлгийн мацериалууд усны төвшин бага үед органик материалын исэлдэлт болон умлалтаар (өөрөө шатах үзэгдэл) үүсдэг (Diessel, 1992). Өөрөөр хэлбэл Хужиртын хүлэр хуримтлагдах үед

хүлэрт намгийн усны төвшин бага байсан ба хүлрийн зарим хэсэг усны төвшнөөс ил гаран исэлдэж, харьцангуй их хэмжээний инертинит үүссэн гэж таамаглаж байна.

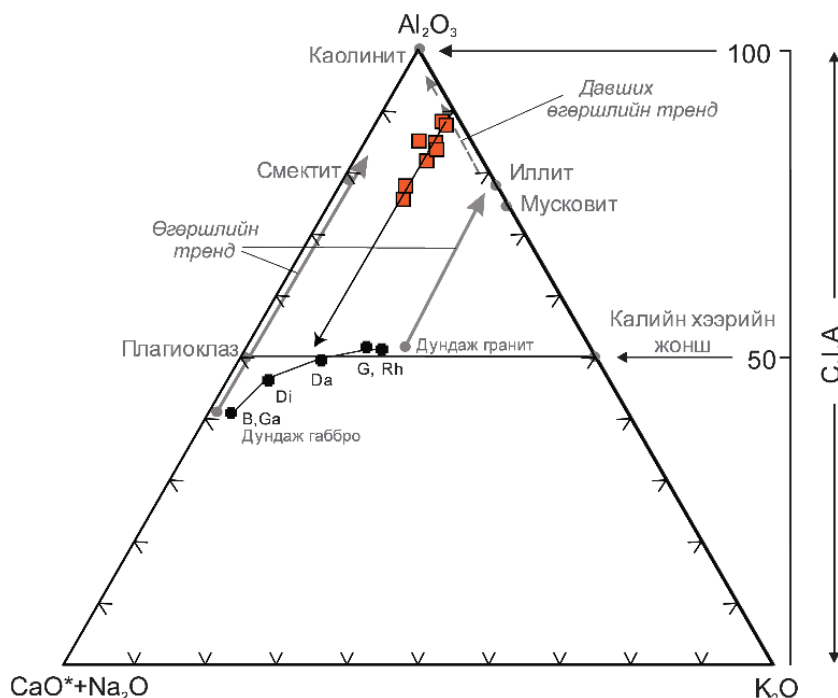
Дээрхи үзүүлэлтүүд дээр тулгуурлан Хужиртын хүлэр хуримтлагдаж байх үед халуун хуурай болон чийглэг дулаан уур амьсгал ээлжилж байсан боловч, чийг харьцангуй бага, халуун уур амьсгал нь давамгайлж байсан гэж үзлээ. Уур амьсгал халуун болж (харьцангуй бага C-утга, өндөр Sr/Cu, бага Rb/Sr), хүр тундсын хэмжээ буурахад усны ууршилт нэмэгдэн, усан санд гаднаас орж ирэх цэнгэг усны хэмжээ багасжээ. Ингэснээр хүлэрт намгийн усны төвшин бүүрч, давсжилт нэмэгдэн (өндөр Sr/Ba), хүлрийн зарим хэсэг уснаас дээш гарч инертинитийн бүлгийн мацериалууд нилээд их хэмжээгээр ($<22.2\%$ инертинит) үүссэн байна. Үүнээс гадна усан сангийн гүн багасах үед, усан сан дахь хүчилтөрөгчийн агуулга нэмэгдэж, Ni/Co ихсэн, V/Cr буурах ёстой (McLennan et al., 1993; Wang et al., 2016). Судлагдсан дээжүүдийн Ni/Co агуулга дунджаар 1.5 , V/Cr агуулга дунджаар 2.1 байгаа нь Хужиртын хүлэр хүчилтөрөгчийн агуулга ихтэй, аэроб нөхцөл бүхий усан санд хуримтлагдсаныг мөн харуулна.

5.2. Тэжээгч мужийн өгөршлийн эрчим, исэлдэлт

Тэжээгч (өгөршлийн) мужид явагдах химийн өгөршлийн эрчим нь тэжээгч мужаас өгөршлийн үр дүнд үүсэх хэмхдэслэг чулуулгийн найрлага болон төрөлд гол үүрэг гүйцэтгэнэ. Химийн өгөршлийн эрчимд уур амьсгал, тектоникийн нөхцөл гэх мэт хүчин зүйлс нөлөөлнө (Wronkiewicz and Condie, 1987). Өгөршлийн үед чулуулгаас Na^+ , Ca^{2+} зөөгдөж, өгөршлийн бүтээгдэхүүнд Al^{3+} , Ti^{4+} үлдэнэ. Үүнд тулгуурлан химийн өгөршлийн зэргийг “Химийн өөрчлөлтийн индекс” (CIA)-р тодорхойлно (Nesbitt and Young, 1982). Химийн өгөршил ихсэх тусам CIA утга нэмэгдэнэ. CIA утга өгөршөөгүй гранит, гранодиоритод $45-55$, шаварлаг чулуулагт $75-85$, хлорит, каолинитод 100 хүрнэ (Nesbitt and Young, 1982).

Иймд CIA утга 80-100 бол уур амьсгал халуун, чийглэг, химийн өгөршил эрчимтэй явагдаж байсан гэж үзнэ. CIA 60-80 байвал уур амьсгал дулаан, чийг багатай химийн өгөршилийн эрчим дунд зэрэг гэж тооцно. Харин уур амьсгал сэрүүн, хуурай бол химийн өгөршил сул явагдаж, физик өгөршил давамгайлсан, CIA утга 50-60 болно (Pedo et al., 1995). Хужиртын дээжийн CIA дундажаар 83 (76-89 хооронд) байгаа нь хүлэр хуримтлагдах үед тэжээгч мужид уур амьсгал дулаан, чийг бага, химийн өгөршил дунд зэрэг явагдаж байсныг илтгэж байна. Энэ нь өмнө хэлэлцсэн уур амьсгалын нөхцлийн тайлалттай нийцэж байгаа болно.

Судлагдсан нүүрсний дээжүүдийг Al_2O_3 (моль), CaO^*+Na_2O (моль), K_2O (моль) агуулгаар A-CN-K диаграм дээр буулгав (Зураг 3) (Nesbitt and Young, 1984). Уг диаграм дээр A-CN тэнхлэгтэй параллелиар өгөршлийн трендийг зурж, тухайн тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийн найрлагыг тодорхойлж болдог. Нүүрсэнд агуулагдаж буй чулуулаг (үнс) нь гранодиорит, дацитийн найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүссэн байна. Дээжүүдийн CIA өөрчлөлт багатай байгаа нь тэжээгч мужид тектоник идэвхжил тогтвортой байж, чулуулаг химийн өгөршилд жигд өртсөнийг илтгэнэ (Nesbitt et al., 1997).



Зураг 3. A-CN-K диаграмм дээр Хужиртын дээжүүдийг буулгасан нь. Дээжүүд дацитийн найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүссэн байна.

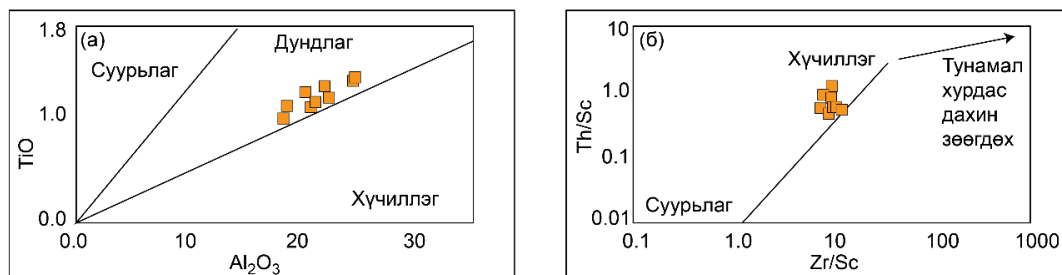
5.3. Нүүрс агуулагч тунамал чулуулгийн эх үүсвэр

Хэмхдэслэг тунамал чулуулгийн химийн найрлагад эх үүсвэрийнх нь химийн найрлага уламжлагдан үлдэнэ. Жишээлбэл, суурилаг найрлагатай чулуулгаас үүссэн

хурдаст SiO_2 бага, харин Fe, Ti, Mg, Cr, Ni, Sc зэрэг элемент өндөр байх бол хүчиллэг найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүссэн хурдас SiO_2 баялаг, Th, Zr, Y өндөр агуулгатай байдаг (Roser, 2000). Al-, Ti-, Zr-ий ислүүд бага температурт усанд муу уусах тул тунамал хурдас дахь Al_2O_3/TiO_2

эх чулуулагтайгаа ижил байдаг. Иймд $Al_2O_3/TiO_2 > 21$ бол хүчиллэг, 8-21 бол дундлаг, < 8 бол суурилаг найрлагатай чулуулгаас үүссэн гэж үзнэ (Hayashi et al., 1997). Хужиртын дээжүүдийн Al_2O_3/TiO_2 16.7-19.5 (дундажаар 18.4) байна. Иймд нүүрс агуулагч юрын тунамал хурдсыг дундлаг найрлагатай чулуулгаас үүссэн

гэж таамаглав (Зураг 4а). Мөн Ti/Zr ба La/Sc агуулгаар чулуулгийн эх үүсвэрийг тодорхойлж болдог (Bhatia and Crook, 1986) бөгөөд эдгээр сарнимал элементийн харьцаанаас харахад нүүрс агуулагч тунамал чулуулаг андезит, дацитийн найрлагатай чулуулгаас үүсчээ (Хүснэгт 3).



Зураг 4. Дунд-дээд юрын Хужиртын дээжийг (а) Al_2O_3 ба TiO_2 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.

Тунамал чулуулаг угаагдан, дахиж хуримтлагдах процесс нь тунамал савын үүсэл, хөгжилд маш чухал үүрэгтэй. Орчин үед хадгалагдан үлдсэн тунамал чулуулгийн дийлэнх нь тунамал чулуулгаас үүссэн гэж үздэг (McLennan et al., 1993). Зарим хүнд эрдэст агуулагдаж сарнимал элементийн агуулгаар тунамал чулуулаг өгөршин, дахин зөөгдсөн эсэхийг тодорхойлж болно. Хамгийн өргөн ашиглагддаг сарнимал элементүүд нь Zr/Sc ба Th/Sc юм (McLennan et al., 1993). Хужиртын дээжүүд дэх Zr -ийн агуулга нь ЭГДЭЦ-ийн дундажтай ойролцоо байх бөгөөд Zr/Sc ба Th/Sc диаграммаас харахад нүүрс агуулагч тунамал хурдас нь дахин хуримтлагдах процесст өртөөгүй байна (Зураг 4б).

Геохимийн судалгааны үр дүнгээс харахад Хужиртын нүүрс агуулагч тунамал хурдас (Шарынгол формаци) нь андезит, дацитийн найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүссэн байна. Энэ нь А-СН-К диаграммаар тодорхойлсон гранодиоритийн найрлагатай чулуулгаас үүссэн гэсэн

тайлалттай нийцэж байна. Хужирт орчимд түрүү пермийн Хануй серийн дундлаг найрлагатай вулканит өргөн тархалттай, мөн түрүү палеозойн гранодиорит мөн тархсан байдаг тул эдгээр чулуулгийг хамгийн боломжит эх үүсвэр гэж үзэв.

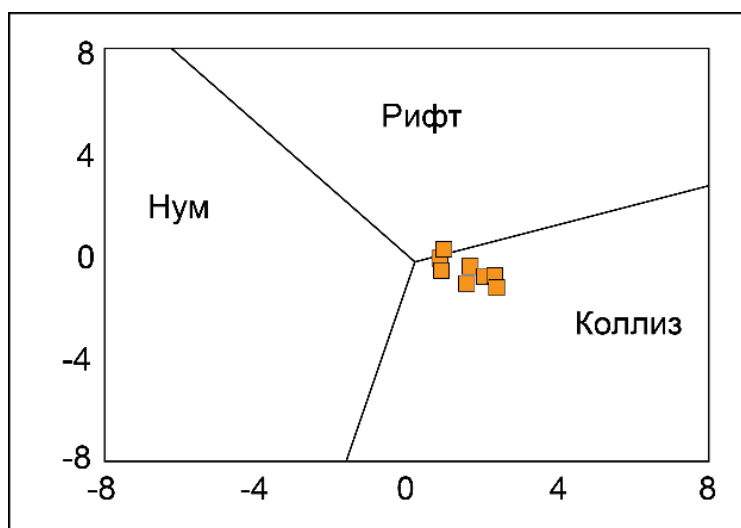
5.4. Тектоникийн нөхцөл

Тэжээгч (өгөршлийн) мужийн тектоникийн нөхцөл нь шинээр үүсэх тунамал чулуулгийн химийн найрлагыг тодорхойлно (Bhatia & Crook, 1986). Тектоник нөхцлөөс шалтгаалан үүсэх магмын чулуулгийн найрлага ялгаатай байдаг тул тэдгээрийн өрөгшлөөр үүсэх тунамал чулуулгийн химийн найрлага мөн ялгаатай (Bhatia, 1983; Bhatia & Crook, 1986; Roser & Korsch 1986, Verma and Armstrong-Altrin, 2013). Энэ өгүүлэлт үндсэн исэл болон зарим сарнимал элементийн найрлагыг ашиглан нүүрс агуулагч тунамал чулуулаг хуримтлагдсан тектоникийн нөхцлийгн сэргээн босгов. Тектоник нөхцлийг сэргээн босгох эдгээр аргууд, зарим тохиолдолд

тухайн тунамал чулуулаг хуримтлагдсан тектоник нөхцлийг биш харин тэр тунамал чулуулгийг үүсгэсэн эх чулуулгийнх нь үүссэн тектоникийн нөхцлийг заах тохиолдол байдгийг анхаарч байх ёстой (Armstrong-Altrin and Verma, 2005; Verma and Armstrong-Altrin, 2013; Chen and Robertson, 2020)

Verma and Armstrong-Altrin (2013) нарын зохиосон үндсэн ислийн агуулгаар тектоник нөхцөлийг тодорхойлох дискриминацийн диаграммд, тунамал хурдас хуримтлагдах арлан нум, эх газрын рифт, коллиз гэсэн тектоникийн үндсэн

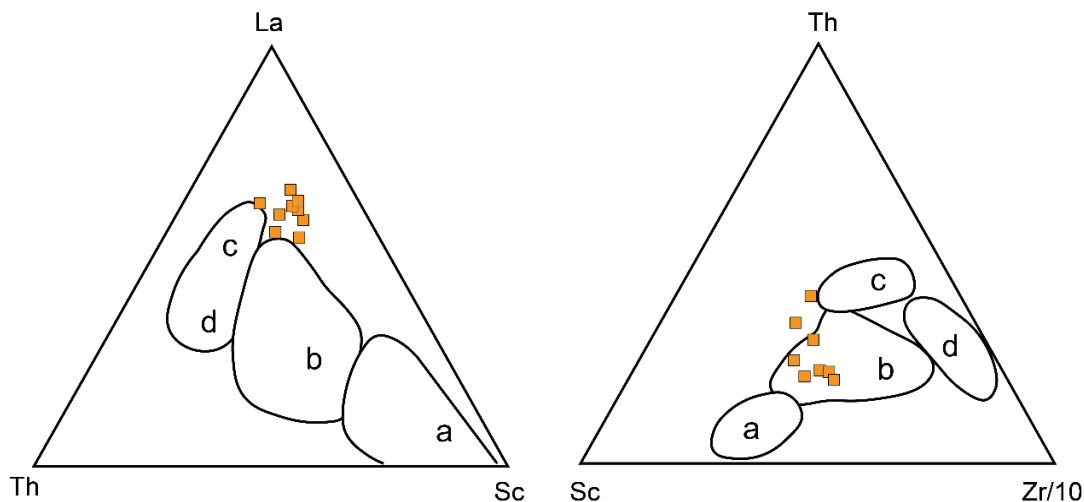
3 горимыг тодорхойлно. Уг диаграмм нь SiO_2 -ийн их (63-95%) болон бага (35-63%) агуулгатай дээжинд зориулсан хоёр диаграммаас бүрдэнэ. Хужиртын нэг дээж SiO_2 -ийн өндөр агуулгатайд, бусад бүх дээжүүд SiO_2 -ийн бага агуулгатай хамаарч байсан тул энэ өгүүлэлт зөвхөн SiO_2 -ийн бага агуулгатай дээжийн диаграммыг үзүүлэв (Зураг 5). Уг диаграмм дээр дээжүүд коллизийн талбайд бууж байх тул дунд-дээд юрын нүүрс, түүнийг агуулсан Шарынгол формацийн тунамал чулуулаг нь коллизийн форманд хотгорт хуримтлагдсан гэж таамаглав.



Зураг 5. Тектоник нөхцлийг тодорхойлох дискриминацийн диаграмм (Verma and Armstrong-Altrin, 2013). SiO_2 -ийн бага агуулгатай дээжинд зориулсан диаграмм дээр Хужиртын дээжийг буулгасан нь. Дээжүүд коллизын талбайд бууна.

Co, La, Sc, Th, Zr зэрэг сарнимал элементүүд өгөршлийн үед усанд уусан зөөгдөлгүй, хэмхдэслэг тунадаст хадгалагдан үлдэх тул тунамал чулуулаг дахь эдгээр элементүүдийн агуулга нь эх чулуулгийнхаа агуулгатай ойролцоо байна. Иймд эдгээр элементийн агуулгыг палеотектоникийн нөхцлийг сэргээн босгоход өргөнөөр ашигладаг (Bhatia and Crook, 1986; Chen and Robertson, 2020).

La-Th-Sc болон Th-Sc-Zr/10 диаграмм дээр дээжүүдийн дийлэнхи эх газрын арлан нумын талбайд, цөөн дээжүүд эх газрын идэвхитэй захын талбайд буув (Зураг 6). Өмнө өгүүлсэнчилэн эдгээр диаграммууд нүүрс агуулсан тунамал чулуулаг биш, харин тэдгээр тунамал чулуугийг үүсгэсэн эх үүсвэрийнх нь тектоник нөхцлийг зааж байна гэж үзэв (Armstrong-Altrin and Verma, 2005; Chen and Robertson, 2020).



Зураг 6. Дунд-дээд юрын Хужирт ордын дээжийг тектоник орчин тодорхойлоход ашигладаг La-Th-Sc болон Th-Sc-Zr/10 диаграм дээр буулгасан нь. Дээжүүд голчлон эх газрын арлан нумын талбайд бүүж байна. Тайлбар: а-далайн арлан нум, б-эх газрын арлан нум, с- эх газрын идэвхитэй зах, d-эх газрын идэвхигүй зах

Монгол-Агнуурын далайн Монголын нутаг дээрхи хэсэг нь дунд юрын үед хаагдаж дууссан (Zorin et al., 2005). Уг далай хаагдахтай холбоотойгоор хойд болон дорнод Монголын хэмжээнд Андын төрлийн эх газрын идэвхитэй зах, эх газрын нум, нумын арын болон өврийн хотгорууд пермээс хожуу юрын үед хөгжиж байв (Бямба нар, 2009). Хужиртын хотгорыг энэ үед үүссэн нумын арын форланд хотгоруудын нэг гэж үзлээ. Уг форланд хотгорыг дүүргэсэн нүүрс агуулсан Шарынгол формацыг, эх газрын нумын вулканоген чулуулаг бүхий Хануй группийн угаагдлаар үүссэн гэж таамаглав. Үүнээс гадна Хужирт орчимд түрүү палеозойн Зэд бүрдлийн гранодиоритууд тархдаг. Эдгээр гранодиоритууд нь Палеоазийн далай хаагдах үед үүссэн, ордовикийн настай, арлан нумын коллизийн интрузивууд юм (Gordienko et al., 2007; Амар-Амгалан, 2009). Энэ түрүү палеозойн гранодиоритууд Шарынгол формацын тунамал чулуулгийн үүсэлд тодорхой хэмжээгээр оролцсон нь дамжиггүй.

Хэдийгээр энэ геохимийн судалгааны үр дүн коллизийн нөхцлийг зааж байгаа боловч, өмнөх судлаачид Хужирт орчмын

структурыг рифтийн хотгор гэж үзсэн байдаг (Vorontsov et al., 2007; Бямба нар, 2009). Иймд Хужиртын тектоникийн нөхцөлийг цаашид нарийвчлан судлах шаардлагатай. Орхон-Сэлэнгийн талбайн зүүн хойд хэсэгт юрын нүүрс агуулсан хурдас бүхий Шарынгол гэх мэт хэд хэдэн хотгорууд бий. Эдгээр хотгоруудын юрын тунамал хурдсын геохимийн судалгааг нарийвчлан хийх нь Монгол-Агнуурын далай хаагдах үеийн геотектоникийн нөхцлийг сэргээн босгоход чухал үүрэгтэй болно.

6. ДҮГНЭЛТ

Орхон-Сэлэнгийн талбайд байрлах дунд-дээд юрын Хужирт ордоос авсан нүүрсний 9 дээжинд хийсэн геохимийн шинжилгээний үр дүнд дараахи дүгнэлтийг хийж байна. Үүнд:

1. Хужиртын хүлэр нь халуун, харьцангуй чийг багатай уур амьсгалд хуримтлагдсан байна. Энэ нь С-утга (дундажаар 0.6), өндөр Sr/Cu (дундажаар 20), бага Rb/Sr (дундажаар 0.03) илэрхийлэгдэнэ. Хужиртын нүүрсний инертинитийн бүлгийн мацериалын агуулга өндөр (<22.2%)

байгаа нь дээрхи тайлалттай нийцнэ. Дээжүүдийн Ni/Co (дунджаар 1.5), V/ Cr (дунджаар 2.1)-ийн агуулга хүлэрт намаг хүчилтөрөгч ихтэй, аэроб нөхцөлтэй байсныг илтгэнэ.

1. Дээжүүдийн CIA дунджаар 83 байгаа нь тэжээгч мужид уур амьсгал дулаан, чийг бага, химийн өгөршил дунд зэрэг явагдаж байсныг илтгэж байна. A-CN-K диаграммаас үзэхэд нүүрсэнд агуулагдаж буй чулуулаг гранодиоритийн найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүссэн байна. Мөн дээжүүдийн CIA өөрчлөлт багатай байгаа нь тэжээгч мужид тектоник идэвхжил тогтвортой байсныг заана.
2. Зарим үндсэн исэл болон сарнимал элементийн агуулгаас харахад Хужиртын нүүрс агуулагч Шарынгол формацийн тунамал хурдас андезит, дацитийн найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүссэн байна. Хамгийн боломжит эх үүсвэр нь түрүү пермийн Хануй серийн дундлаг найрлагатай вулканит, мөн түрүү палеозойн (ордовик) Зэд бүрдлийн гранодиорит юм.
3. Дунд-дээд юрын Шарынгол формацийн нүүрс агуулагч хурдас нь нумын арын форланд хотгорт хуримтлагдсан байна. Өөрөөр хэлбэл Хужиртын синклиналь нь Монгол-Агнуурын тэнгис хаагдах үед царцдасын шахалтын нөлөөгөөр үүссэн нумын арын форланд хотгор юм. Уг хотгорыг дүүргэгч дунд-дээд юрын тунамал хурдас нь эх газрын нум болон арлан нумын орчинд үүссэн дундлаг найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүсчээ.

ТАЛАРХАА

Энэхүү судалгааг Монгол Улсын Их Сургуулийн Өндөр түвшний төслийн (P2020-3939) хүрээнд гүйцэтгэв.

ИШЛЭЛ

- Амар-Амгалан, С. 2009. Түрүү палеозойн интрузив чулуулаг. О.Гэрэл (ред): Интрузив чулуулаг. Монголын геологи ба Ашигт малтмал III боть. Соёмбо принтинг, х.64-99.
- Байгалмаа, Н., Эрдэнэчимэг, Д., Эрдэнэцогт, Б., Жаргал, Л., Огата, Т., Эрдэнэбаяр, Ж., Баатархуяг, А., Нансалмаа, Д., Билгүүн, Л., 2021. Өмнөд Монголын дунд юрын уур амьсгал, геодинамикийн нөхцөл. I хэсэг: Нарийнсухайт ордын элсэн чулууны геохимийн судалгаа. Гелогийн асуудлууд 19 (554), 45-61.
- Батгэрэл, С., Эрдэнэцогт, Б., Байгалмаа, Н., Алтанцэцэг, Д., 2021. Өмнөд Монголын дунд юрын уур амьсгал, геодинамикийн нөхцөл. II хэсэг: Нарийнсухайт ордын нүүрсний геохимийн судалгаа. Гелогийн асуудлууд 19 (554), 62-73.
- Бямба, Ж., Доржсүрэн, Б., Доржнамжаа, Д., Төмөрхүү, Д., Махбадар, Ц., 2009. Төв Монголын атираат муж. Ж.Бямба (ред): Литосферийн плитийн тектоник. Монголын геологи ба Ашигт малтмал IV боть. Соёмбо принтинг, х.199-321.
- Дашхорол нар, 2017. Сэлэнгэ аймгийн Түшиг сумын нутагт орших Хужиртын нүүрсний ордод 2007-2016 онд гүйцэтгэсэн эрэл, хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан. Улаанбаатар.
- Жаргал, Л., Эрдэнэ, А., Дашхорол, А., Нансалмаа, Д., 2017. Хужиртын ордын нүүрсний петрографийн найрлага, чанарын судалгааны үр дүнгээс. Геологийн асуудлууд 15 (473), 36-45.
- Armostrong-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, 115–129.
- Bai, Y., Liu, Zh., Sun, P., Liu, R., Hu, X., Zhao, H., Xu, Y., 2015. Rare earth and major element geochemistry of Eocene fine-grained sediments in oil shale- and coal-bearing layers of the Meihe Basin,

- Northeast China. *Journal of Asian Earth Sciences* 97, 89-101.
- 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, 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.
- Diessel, C.F.K., 1992. *Coal-bearing Depositional Systems*. Springer-Verlag, Berlin
- 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
- 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.
- Gordienko, I.V., Filimonov, A.V., Minina, O.R., Gornova, M.A., Medvedev, A., Klimuk, V., Elbaev, A., Tumurtogoo, O., 2007. Dzhida island-arc system in the Paleoasian Ocean: structure and main stages of Vendian-Paleozoic geodynamic evolution. *Russian Geology and geophysics* 48, 91-106.
- 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.
- 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.
- McLennan, S.M., 1993. Weathering and global denudation. *J. Geol.* 101, 295–303.
- Moradi, V., Sari, A., Akkaya, A., 2016. Geochemistry of the Miocene oil shale (Hanzili Formation) in the Zankırı-Zorum Basin, Central Turkey: Implications for Paleoclimate conditions, source-area weathering, provenance and tectonic setting. *Sedimentary Geology* 341, 289-303
- 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.
- Roser B. P. & Korsch R. J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone and mudstone suites using SiO₂ and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology* 94, 635–50.

- 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.
- Song, J., Bao, Z. et al., 2018. Sedimentology and geochemistry of Middle–Upper Permian in northwestern Turpan–Hami Basin, China: Implication for depositional environments and petroleum geology. *Energy, exploration and exploitation* 36, 910–941.
- 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.
- Vorontsov, A., Yarmolyuk, V., Lykhin, D., Dril, S., Tatarnikov, S., Sandimirova, G., 2007. Magmatic Sources and Geodynamics of the Early Mesozoic Northern Mongolia–Western Transbaikalia Rift Zone. *Petrology* 15, 35–57.
- 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.
- Wronkiewicz, D.J., Condie, K.C., 1989. Geochemistry and provenance of sediments from the Pongola Supergroup, South Africa: evidence for a 3.0-Ga-old continental craton. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53, 1537–1549.
- 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).
- Zorin, Yu.A., 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia–Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics* 306, 33–56.