

## СУДАЛГААНЫ ӨГҮҮЛЭЛ

### ӨМНӨД МОНГОЛЫН ДУНД ЮРЫН УУР АМЬСГАЛ, ГЕОДИНАМИКИЙН НӨХЦӨЛ. II ХЭСЭГ: НАРИЙНСУХАЙТ ОРДЫН НҮҮРСНИЙ ГЕОХИМИЙН СУДАЛГАА

С.Батгэрэл<sup>1,2</sup> | Б.Эрдэнэцогт<sup>2\*</sup> | Н.Байгалмаа<sup>2</sup> | Д.Алтанцэцэг<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Саусгоби сэндс ХХК, Улаанбаатар, Монгол улс

<sup>2</sup> МУИС, ШУС, Геологи, Геофизикийн тэнхим, Улаанбаатар, Монгол улс

<sup>3</sup> МАК ХХК, Улаанбаатар, Монгол улс

#### Abstract

**Хүлээн авсан:** 2021.04.28

**Засварлагдсан:** 2021.04.30

**Зөвшөөрөгдсөн:** 2021.05.04

**Тулхуур үг:** Нарийнсухайт, дунд юра, нүүрс, үнсний геохими

**Харилцах зохиогч:**

Б.Эрдэнэцогт МУИС, ШУС,  
Геологи Геофизикийн тэнхим,  
Улаанбаатар, Монгол улс  
Имэйл: [tsogo@num.edu.mn](mailto:tsogo@num.edu.mn)

Based on the geochemistry of coal samples, collected from East and West mines of Nariinsukhait deposit, provenance, tectonic settings and source area-paleoweathering and paleoclimate was reconstructed. Sediments accumulated in peat swamp were mainly from acidic rocks mixed with smaller amount of intermediate rocks, indicated by  $Al_2O_3/TiO_2$  and A-K-CN diagrams. Seam 5 was deposited under relatively hot climate compared with upper seams (Seam 8, 9 and 10). Seam 5 is characterized by high Sr/Cu (avg. 7.4), Sr/Ba (avg. 2.5) and inertinite content (up to 35%). For upper seams, Sr/Cu (4.8), Sr/Ba (1.5) and inertinite content (~14%) are low, indicating more humid climate and fresher water body. CIA, Ni/Co and V/Cr support the findings. In addition, coal was deposited in foreland basin. Collision tectonic setting was dominant during Triassic and Jurassic period in southern Mongolia.

## 1. ОРШИЛ

Дунд юрын Нарийнсухайт нүүрсний орд нь Монголын эдийн засагт чухал байр суурь эзэлнэ. Ордын төв хэсэгт Монголын Алт ХХК, Чинхуа-МАК-Нарийнсухайт ХХК, баруун хэсэгт Өсөх Зоос ХХК, баруун өмнөд болон зүүн өмнөд хэсэгт Саусгоби сэндс ХХК-ийн уурхай олборлолт явуулж байна. Эдгээр дөрвөн компанийн таван уурхайгаас 2020 онд 9.1 сая тн нүүрс экспортлосон нь Монгол улсын нийт экспортлосон нүүрсний 29% болж байна (АМГТГ, 2021). Нарийнсухайт ордыг сайтар судлах нь тухайн бүс нутагт шинэ орд нээх, нүүрсний чанарыг урьдчилан таамаглах боломж бүрдүүлнэ.

Нөгөө талаас нүүрсний эрэл хайгуулын явцад асар их мэдээлэл цуглардаг боловч тэдгээр мэдээллийг голчлон нүүрсний чанарын судалгаанд хэрэглэж байна. Ордын хайгуулыг нилээд зардал гаргаж хийдэг тул, хайгуулын үед цугларсан мэдээллийг аль болох бүрэн дүүрэн, геологийн төрөл

бүрийн судалгаанд ашиглахыг зорих нь зүйтэй юм. Нүүрсний үнсний химийн шинжилгээ болон сарнимал элементийн шинжилгээг бүх төрлийн нүүрсэнд хийдэг (Thomas, 2012). 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 ижил. Иймд үнсний химийн найрлага болон сарнимал элементийн судалгааны үр дүнг тунамал чулуулгийн геохимийн судалгаатай ижлээр ашиглаж болох ба үр дүн нь мөн адил байна (Bai et al., 2015).

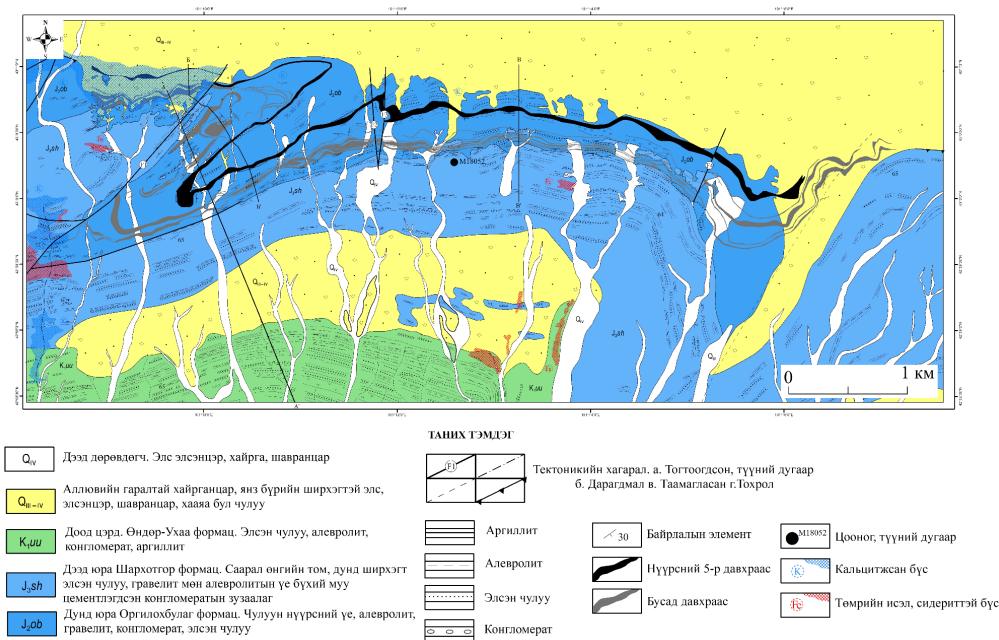
Энэ өгүүллэгт Нарийнсухайт ордын баруун өмнөд болон зүүн хэсэгт (өгүүллэгт Баруун болон Зүүн орд гэж нэрлэсэн) өрөмдсөн хайгуулын цооногоос авсан нүүрсний дээжийн геохимийн шинжилгээний үр дүнд боловсруулалт хийсэн үр дүнг нэгтгэв. Судалгааны зорилго нь хүлэр хуримтлалын орчин, эртний уур амьсгал, нүүрс агуулагч тунамал чулуулгийн эх үүсвэр, тунамал

савын геодинамикийн нөхцөлийг сэргээн босгох байв.

## 2. НАРИЙНСУХАЙТ ОРДЫН БАРУУН БОЛОН ЗҮҮН ХЭСГИЙН ГЕОЛОГИЙН ТОГТОЦ, НҮҮРСЖИЛТ

Нарийнсухайт ордын зүүн болон баруун хэсэгт Саусгоби сэндс ХХК-ийн Нармандах (Зүүн ордод) болон Наржаргах (Баруун ордод) нэртэй хоёр уурхай нүүрс олборлодог. Нүүрс нь дунд юрын Оргилохбулаг формацийн хурдаст агуулагдана. Энэ хэсэгт хоёр уурхай байрлах хэсгийн геологийн тогтоцыг тоймлон оруулаа. Дүүргийн геологийн тогтоц болон Нарийнсухайт ордын төв хэсгийн структур, геологийн тогтоцын онцлогийг Байгалмаа нар (энэ дугаар)-с үзнэ үү. Зүүн орд гэж нэрлэгддэг, Нарийнсухайт ордын зүүн өмнөд хэсэгт дунд юрын

Оргилохбулаг, дээд юрын Шархотгор формацийн хурдас тархана (Зураг 1). Хурдас нилээд атираажсан, моноклираль атираа үүсгэн зүүн урагш шургана. Уналын өнцөг маш их хэлбэлзэлтэй, 25-70 хэм хүрч өөрчлөгдөнө. Зүүн ордын хойд болон төв хэсэг нь дөрөвдөгчийн хурдсаар хучигдаж тэгш гадаргуу үүсгэнэ. Баруун орд нь Нарийнсухайтын ордын баруун өмнөд үргэлжлэл юм. Баруун ордын талбайд нүүрсний давхраас агуулсан дунд юрын Оргилохбулаг, дээд юрын Шархотгор формацийн хурдас тархана. Талбайн зүүн өмнөд хэсэг дөрөвдөгчийн сэвсгэр хурдсаар хучигдана. Нүүрс агуулсан дунд юрын хурдас тектоник хагарал, микро атираажилтанд өртсөн, моноклираль структур үүсгэх ба уналын өнцөг урагш 30-55 хэм байна. Хагаралаар хурдас 5-20 м шилжинэ (Очирбат нар, 2006).



Зураг 1. Нарийнсухайт ордын геологийн зураг (Зураг дээр нүүрсний давхраасын гаршийг тэмдэглэв)

Нарийнсухайт ордод нийт 12 нүүрсний давхраас тогтоогдсон ба давхраасуудыг доороос дээш дугаарласан байдаг. Эдгээр

давхраасуудаас Баруун ордод 5L, 5U, 8, 9, 10 давхраасууд, Зүүн ордод 5L, 5U, 6L, 6U, 7L давхраасууд тогтоогдсон. Нөөцийн

ихэнх хэсгийг 5U, 5L давхраас бүрдүүлнэ. Зүүн ордод 5L давхраасын жинхэнэ зузаан нь 22-53 м бөгөөд талбайн хэмжээнд тогтвортой тархана. Харин 6L, 6U, 7L, 8, 9, 10 давхраасуудын зузаан нилээд өөрчлөлттэй. Баруун ордод 5U болон 5L давхраасын жинхэнэ зузаан нь 31-35м хүрнэ. Эдгээр давхраасууд гадаргуугаас доош 600 м хүртэл гүнд огтлогддог. 5L, 5U, 8, 9, 10 гэсэн 5 давхраасуудын нийлбэр зузаан хамгийн ихдээ 100 м хүрнэ, дундаж нь 20 м. Ордын нүүрс нь Ч6 ангилалын нүүрс бөгөөд коксжих шинж чанарыг Баруун ордын 5U, 5L давхраасуудад тодорхойлсон. Чөлөөт хөөлтийн индекс (FSI) 2-5 байгаа нь хагас коксждог нүүрс болохыг илтгэдэг (Саусгоби сэндс ХХК,

2015).

Зүүн болон баруун ордын нүүрсний петрографийн судалгааг 2005, 2019 онуудад хийсэн. 2005 онд цооногоос авсан чөмгөн дээжинд, 2019 онд уурхайн ашиглалтын мөргөцгөөс авсан дээжинд хийсэн (Жаргал нар, 2019). Судалгааны үр дүнгээс харахад 5 болон 6 давхраасын инертинитийн агуулга өндөр, 23.0-35.3% бол 9, 10 давхрааст 14.6-14.8% болж багассан байна. Доод давхраасуудад липтинитийн агуулга бага 2.5-3.6%, харин дээд давхраасуудад 4.9-5.5% болж нэмэгдэнэ. Баруун болон зүүн ордод витринитийн гэрэл ойлтын зэрэг дунджаар 0.85% (Жаргал нар, 2019).

**Хүснэгт 1. Баруун болон Зүүн ордын нүүрсний петрографийн найрлага (Жаргал нар, 2019)**

Орд	Давхраасын дугаар	Органик компонентууд, %			Эрдсийн хольц, %
		Липтинит	Витринит	Инертинит	
Баруун орд	10	5.5	59.1	14.6	20.9
	9	5.2	64.1	14.8	16.0
	8	4.9	65.2	22.0	8.0
	5	2.5	65.7	28.9	3.0
Зүүн орд	6U	2.9	62.1	27.4	7.8
	6L	3.2	51.5	35.3	10.1
	5U	3.6	60.5	28.4	7.5
	5L	3.3	66.1	23.0	7.7

**3.ДЭЭЖ БА СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ**

Судалгаанд Баруун ордод 2005 онд өрөмдсөн NSW-57с (175 м гүн, 101°09' 54.88"; 42°59' 50.88"), NSW-35с (240м гүн, 101°09'39.30"; 42°59'54"), NSW07-82с (550м гүн, 101°09'39.30"; 42°59'39"), Зүүн ордод 2007 онд өрөмдсөн NS-18с (182 м гүн, 101°15'38"; 42°59'56.38"), нийт дөрвөн цооногоос авсан 120 дээжийн үр

дүнг ашиглав (Хүснэгт 2).

Өгүүлэгт 120 дээжийн техникийн задлан шинжилгээ, 32 дээжийн үнсний химийн найрлага (үндсэн исэл), 16 дээжийн сарнимал элементийн шинжилгээний үр дүнг ашиглав. Техникийн задлан шинжилгээ (ТЗШ), үнсний химийн найрлага (ҮХ), сарнимал элементийн (СЭ) шинжилгээг Эс-Жи-Эс Норт Америка компанийн АНУ-ын Денвер хот дахь лабораторид хийсэн.

**Хүснэгт 2. Дээжийн мэдээлэл, хийгдсэн шинжилгээ**

Цооногийн дугаар	Орд	Давхраас	Дээж, ш	Дээжилсэн интервал, м	Дээжилсэн нийт зузаан, м	Хийгдсэн шинжилгээ
NSW-57с	Баруун	10	7	46.8-61.6	19.6	ТЗШ, ҮХ, СЭ
		9	20	90.6-125.0	71.5	
		8	5	157.1-168.2	17.0	
NSW07-82RC	Баруун	9	2	211.8-259.7	19.8	ТЗШ, ҮХ, СЭ, коксжих чанар, петрографийн шинжилгээ
		8	1	270.0-282.0	11.8	
NSW-35с	Баруун	5U	49	110.4-227.4	215.1	
NS-18с	Зүүн	5L	36	46.9-173.9	214.2	

#### 4. ҮР ДҮН

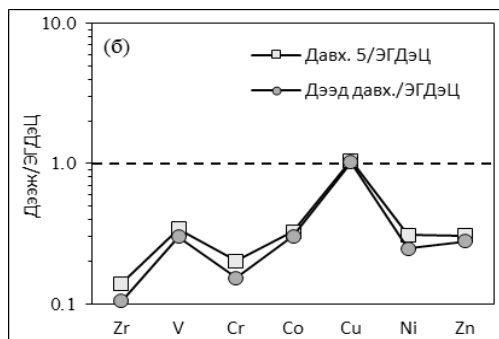
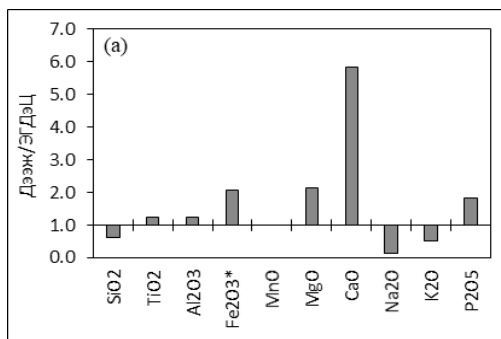
##### 4.1. Нүүрсний техникийн болон элементийн задлан шинжилгээ

Судалгааны дээжүүдийн техникийн болон элементийн шинжилгээний үр дүнг дунджлан Хүснэгт 3-т үзүүлэв. Техникийн шинжилгээний дундаж үр дүнгээс харахад 10, 9, 8, 5U давхраасын дундаж үнслэг 6.8-18.8%, дэгдэмхий бодисын гарц 31.7-35.9%, илчлэг 7905-8195 ккал/кг байна. Нийт хүхрийн агуулга 0.5-1.8% ба органик хүхэр 1.3% хүртэл агуулагдана. Ордын хэмжээнд нүүрстөрөгчийн агуулга (C, daf) 76.3-85.2%, дунджаар 81.0%, үстөрөгч (H, daf) 5.0-5.4%, дунджаар 5.1%, азот (N, daf) 1.2-2.0%, дунджаар 1.5%, хүчилтөрөгч (O, daf) 6.5-10.0%, дунджаар 8.5% байна.

##### 4.2. Үндсэн ислийн болон сарнимал элементийн шинжилгээ

Нүүрсэн дэх үнсний химийн шинжилгээгээр SiO<sub>2</sub>-н агуулга 22.2%–57.1% (дундаж 41.2%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-н агуулга 13.6%-24.3% (дундаж 19.1%), TiO<sub>2</sub>-ийн агуулга 0.5-1.1% (дундаж 0.8%), K<sub>2</sub>O-ийн агуулга 0.2-3.0% (дундаж 1.4%), MgO-ийн агуулга

1.6-27.4% (дундаж 5.3%), Na<sub>2</sub>O-ийн агуулга 0.1-2.0% (дундаж 0.4%), CaO-гийн агуулга 4.1-46.2% (дундаж 21.0%) хэлбэлзэж байна (Хүснэгт 4). Дээжүүдийн үндсэн ислийн агуулгын дунджийг эх газрын дээд царцдасын (ЭГДЭЦ) дундаж утгаар нормчлосныг Зураг 2а-д үзүүлэв. K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O болон SiO<sub>2</sub> агуулга царцдасын дунджаас бага, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO агуулга өндөр байна. Энэ нь Fe, Ca болон Mg агуулсан пирит, маркезит, кальцит, доломит зэрэг эрдсүүдтэй холбоотой гэж үзэж байна. Жишээлбэл, нүүрсэн дэх нийт хүхрийн агуулга давхраасын дунджаар 1.8 % хүрч байна (Хүснэгт 3). Судалгааны дээжүүдийн K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> харьцаа 0.04-0.13 (дундаж нь ~0.09) байгаа нь K<sub>2</sub>O шаварлаг эрдэст агуулагдаж буйг илтгэнэ (Хүснэгт 4). Сарнимал элементийн шинжилгээний үр дүнг Хүснэгт 5-д үзүүлэв. Дээжүүдийн сарнимал элементийн агуулгын дунджийг эх газрын дээд царцдасын (ЭГДЭЦ) дундаж утгаар нормчлосныг Зураг 2б-д үзүүлэв. Дээжүүд бүгд Cu-с бусад элементээр ядуурсан байна. Доод давхраасыг (Давхраас 5) дээд давхраасуудтай харьцуулахад сарнимал элементүүдээр ялимгүй баяжсан нь ажиглагдана.



Зураг 2. Дээжийн (а) үндсэн ислийн болон (б) зарим сарнимал элементийн дундаж агуулгыг эх газрын царцдасын (ЭГДЭЦ) дундаж утгаар нормчилсон нь (нормчилсон утгыг Rudnick and Gao, 2005 авав).

##### Хүснэгт 3. Техникийн ба элементийн шинжилгээний үр дүн (давхраасын дунджаар)

Давхраасын дугаар		10 давх.	9 давх.	8 давх.	5U давх.	5L давх.
Нийт чийг, %	Wt	8.0	5.7	4.8	5.4	9.8
Дотоод чийг, %	Wa	4.4	5.0	3.7	3.5	4.8
Үнс, %	A(d)	18.3	17.2	15.6	6.8	18.8
ДБГ, %	V(daf)	35.9	34.7	31.7	33.5	32.1

Нийт хүүхэр, %	St(d)	1.5	1.7	1.3	0.6	1.7	
Илчлэг, ккал/кг	Q(ar)	5,998	6,254	6,590	7,195	5,885	
	Q(daf)	7,905	8,011	8,195	8,164	7,990	
ЧХИ (FSI)		1.4	3.8	5.0	5.1	1.7	
Витринитийн гэрэл ойлт (Ro, %)		-	0.7	0.7	0.9	0.9	
C		(daf)	81.7	76.3	77.9	84.1	85.2
H			5.4	5.0	5.0	5.0	5.2
N			1.8	1.2	1.1	1.2	2.0
O			8.3	10.0	9.9	8.0	6.5
үхрийн төрөл	Пиритийн ульфатын Органик	(daf)	0.5	0.5	0.2	0.1	0.9
			0.04	0.02	0.02	0.44	0.04
			1.3	0.8	0.7	0.0	0.7

**Хүснэгт 4. Үндсэн ислийн шинжилгээний үр дүн**

№	Дээжийн дугаар	Цооногийн дугаар	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
1	S1 - S5	NS-18c	50.5	0.9	22.0	7.6	0.1	2.7	13.5	0.4	2.2	0.1	0.1	86
2	S6 - S21		54.2	1.0	24.0	6.1	0.1	4.3	7.6	0.4	2.3	0.1	0.1	87
3	S22 - S35		42.6	0.8	17.3	14.1	0.2	6.0	16.8	0.5	1.6	0.1	0.1	84
4	S38 - S48		33.2	0.8	15.0	10.0	0.1	27.4	11.4	0.3	1.7	0.2	0.1	84
5	S49 - S56		52.8	1.1	21.6	6.7	0.0	2.9	11.8	0.6	2.2	0.2	0.1	83
6	S57 - S60		41.4	0.7	19.0	9.7	0.1	3.6	22.9	0.5	1.7	0.5	0.1	84
7	S61 - S73		45.6	0.8	19.5	9.1	0.1	2.6	19.7	0.7	1.6	0.3	0.1	83
8	S74 - S94		41.0	1.0	17.3	12.9	0.2	3.5	21.5	0.7	1.3	0.7	0.1	82
9	S95 - S116		39.8	0.9	17.8	11.1	0.1	2.6	25.5	0.6	1.3	0.3	0.1	83
10	S117 - S126		34.6	0.8	14.8	10.5	0.1	3.6	33.4	0.7	1.2	0.3	0.1	80
11	S127 - S133		48.0	1.0	22.7	6.3	0.1	2.2	17.4	0.5	1.7	0.2	0.1	87
12	S134 - S156		38.0	0.8	15.7	10.3	0.1	4.3	28.5	0.8	1.2	0.2	0.1	80
13	S157 - S170		38.3	0.9	18.1	9.1	0.1	6.7	24.5	0.7	1.3	0.3	0.1	83
14	S171 - S200		37.6	0.9	21.1	10.8	0.1	8.0	19.3	0.6	1.2	0.3	0.1	86
15	S200 - S220		41.3	0.9	20.6	10.8	0.1	7.5	17.0	0.4	1.2	0.2	0.1	88
16	S201 - S206	22.4	0.7	16.4	10.7	0.1	7.9	40.0	0.4	0.6	0.9	0.0	90	
17	S1 - S11	NS-57c	38.8	0.6	17.3	6.4	0.0	11.4	23.7	0.2	1.5	0.1	0.1	89
18	S18 - S24		52.9	0.7	19.3	8.2	0.0	6.0	9.9	0.3	2.4	0.2	0.1	85
19	S27 - S49		44.3	0.5	17.9	15.6	0.2	7.1	12.0	0.2	2.0	0.3	0.1	87
20	S55 - S64		48.6	0.6	16.6	11.5	0.1	7.2	11.6	2.0	1.5	0.3	0.1	67
21	S65 - S79		57.1	0.9	24.2	6.9	0.0	3.1	4.1	0.3	3.0	0.2	0.1	85
22	Com1_18 to 20	NSW07-82c	51.8	0.8	23.7	10.9	0.1	4.0	5.9	0.2	2.6	0.2	0.1	88
23	Com2_27 to 31		47.5	0.8	20.7	11.6	0.1	4.8	11.7	0.1	2.5	0.2	0.1	87
24	Com3_34 to 38		54.7	0.9	22.9	8.2	0.0	4.0	5.8	0.6	2.8	0.2	0.1	83

25	S5 - S23	NS-35c	40.2	0.6	15.3	13.4	0.1	4.0	25.4	0.4	0.6	0.0	0.0	88
26	S24 - S40		27.5	0.6	19.2	13.2	0.1	2.9	35.8	0.2	0.4	0.0	0.0	95
27	S41 - S81		25.3	0.6	18.0	15.1	0.2	3.1	37.2	0.1	0.4	-	0.0	95
28	S82 - S98		38.7	0.8	20.4	9.3	0.1	3.0	26.4	0.2	1.0	-	0.0	92
29	S99 - S149		22.2	0.6	14.5	12.8	0.1	3.4	46.2	0.1	0.2	-	0.0	97
30	S151 - S164		28.2	0.7	19.5	13.0	0.1	3.2	34.8	0.1	0.2	-	0.0	97
31	S166 - S174		51.8	1.0	24.3	9.1	0.1	1.6	11.2	0.1	0.7	0.0	0.0	95
32	S176 - S192		26.1	0.7	13.6	14.9	0.2	4.3	39.9	0.1	0.2	0.0	0.0	96

**Хүснэгт 5. Сарнимал элементийн шинжилгээний үр дүн**

№	Дээжийн дугаар	Цооног	Cr	Cu	Ba	Ni	V	Zn	Co	Sr	Zr
1	S1 - S5	NS-18c	75.0	87.3	192.0	50.6	137.9	78.5	17.5	401.4	92.5
2	S6 - S21		55.8	78.8	118.3	36.1	98.6	59.1	11.5	230.0	69.0
3	S22 - S35		38.6	53.3	97.4	25.7	68.0	38.6	11.0	294.1	42.3
4	S38 - S48		29.4	45.5	113.7	25.4	50.8	45.5	10.7	267.6	33.4
5	S49 - S56		43.2	70.9	140.1	34.6	76.1	65.7	13.8	242.1	65.7
6	S57 - S60		25.7	53.2	128.4	18.3	47.7	23.8	7.3	458.6	42.2
7	S61 - S73		19.9	39.7	106.6	14.5	34.3	18.1	5.4	252.9	36.1
8	S74 - S94		24.2	40.9	160.0	18.6	35.4	14.9	5.6	521.0	35.4
9	S95 - S116		20.3	36.8	108.6	14.7	33.1	18.4	7.4	294.6	36.8
10	S117 - S126		11.1	24.0	81.3	11.1	18.5	14.8	3.7	203.2	20.3
11	S127 - S133		29.8	40.3	108.7	17.5	56.1	24.6	7.0	280.6	56.1
12	S134 - S156		20.4	31.5	114.7	18.5	24.1	22.2	5.6	222.0	25.9
13	S157 - S170		20.1	32.9	100.5	16.4	36.5	23.8	7.3	255.8	27.4
14	S171 - S200		20.5	35.4	152.7	18.6	44.7	22.3	11.2	335.1	35.4
15	S200 - S220		16.3	43.6	150.7	30.9	36.3	29.1	10.9	508.5	27.2
16	S201 - S206		25.1	36.7	158.4	17.4	46.4	23.2	7.7	347.7	40.6
17	S1 - S11	NS-57c	23.2	71.5	171.6	16.1	57.2	35.8	8.9	321.8	34.0
18	S18 - S24		22.4	56.8	161.7	18.9	75.7	37.9	12.0	258.1	37.9
19	S27 - S49		23.2	71.3	171.0	16.0	57.0	35.6	8.9	320.6	33.8
20	S55 - S64		21.4	55.4	232.3	17.9	42.9	25.0	10.7	357.5	30.4
21	S65 - S79		29.4	62.0	310.1	26.1	71.8	35.9	13.1	244.8	57.1
22	Com1_18-20	NSW07-82c	18.3	48.6	-	18.6	50.0	54.4	8.8	-	-
23	Com2_27-31		12.9	25.4	-	7.3	34.1	21.8	3.9	-	-
24	Com3_34-38		15.6	31.9	-	12.1	45.6	34.7	6.1	-	-

**5.ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ**

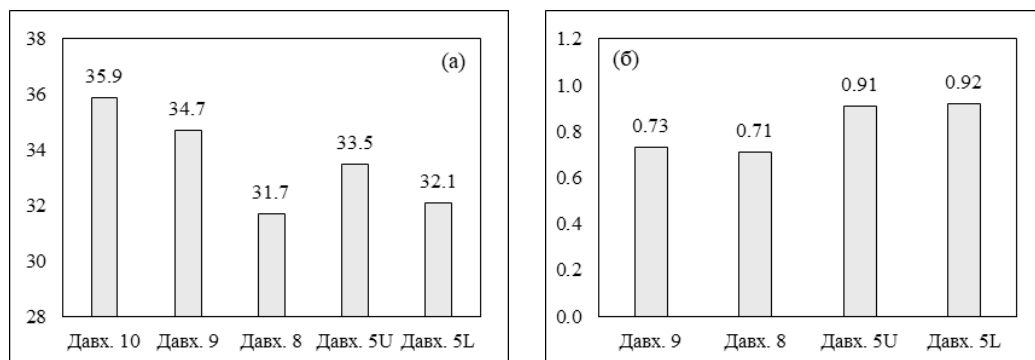
**5.1.Нүүрсний чанарын өөрчлөлт**

Баруун болон Зүүн ордын нүүрсний чанарыг судалгааны дээжүүдийн хүрээнд давхраас бүрээр гаргав (Хүснэгт 3). Давхраас 10, 9, 8, 5 давхраасын дундаж дэгдэмхий бодисын гарц доороос дээш өсөх зүй тогтолтой

ажиглагдана. Эсрэгээрээ витринитийн гэрэл ойлтын үзүүлэлт дээрээс доош ихсэж байна (Зураг 3). Энэ нь нүүрсний хувирлын зэрэг гүн рүү нэмэгдэж байгааг илтгэнэ. Давхраасуудын үнс, хүхрийн агуулга дээрээс доош мөн багасна. Хүхрийн агуулга Давхраас 10, 9-д 1.5%, 1.7% бол давхраас 8, 5U-д 1.3%, 0.6%. Үнсний

агуулга Давхраас 10-т 18.3%, Давхраас 9-д 17.2%, Давхраас 8-д 15.6%, Давхраас 5U-д 6.8% болж буурна. Судалгааны дээжүүдийн хүрээнд 5L давхраасын үнслэг 18.8%,

хүхэр 1.7% байна. Харин ордын дунджаар 5L давхраасын чанарын үзүүлэлтүүд 5U давхраасын чанарын үзүүлэлттэй ойролцоо байдаг.



Зураг 3. Баруун ба зүүн ордын (а) дэгдэмхий бодисын гарц (%), (б) витринитийн гэрэл ойлтын үзүүлэлтийг (Ro, %) давхраасын дунджаар үзүүлэв.

### 5.2. Уур амьсгал, хуримтлалын орчны өөрчлөлт

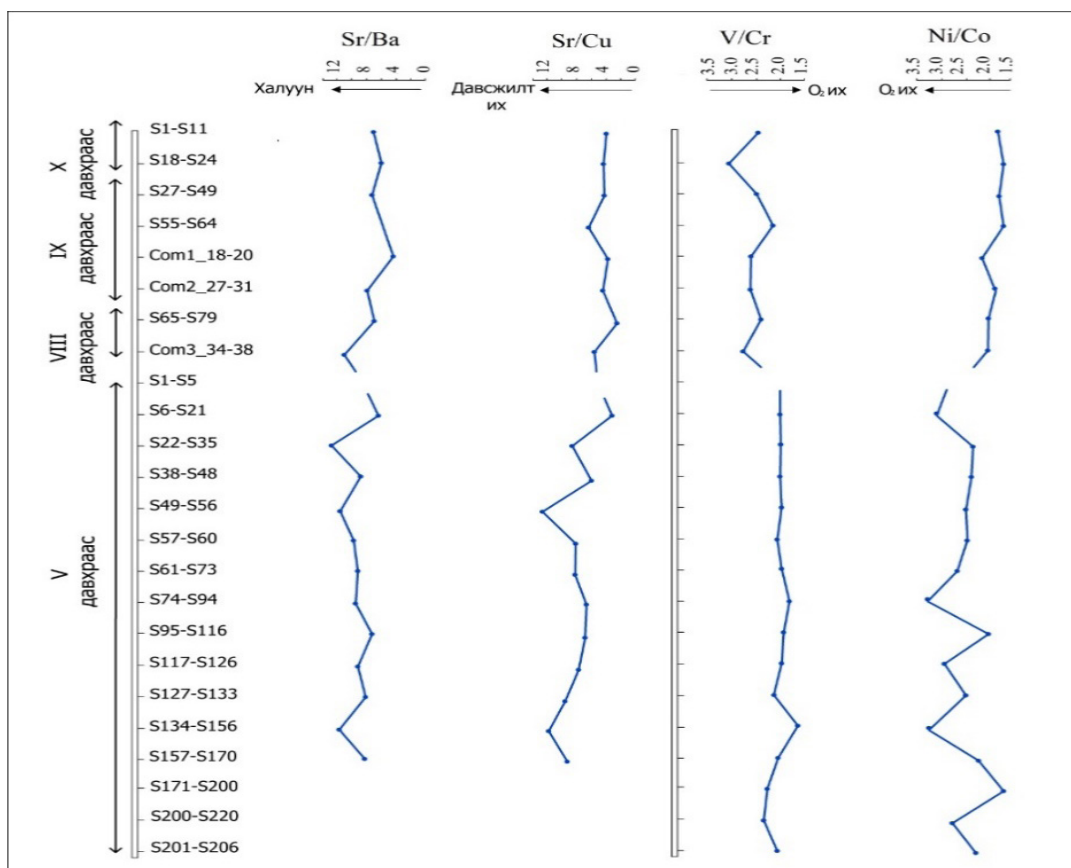
Химийн өгөршил эрчимтэй явагдах эсэх нь уур амьсгалаас хамаарна. Өгөршлийн үед чулуулгаас  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  зөөгдөж,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$  өгөршлийн бүтээгдэхүүнд үлдэнэ. Үүнд тулгуурлан химийн өгөршлийн зэргийг “Хувирлын химийн индекс” (CIA)-р тодорхойлно (Nesbitt and Young, 1982). Химийн өгөршлийн эрчим нэмэгдэх тусам CIA утга нэмэгдэнэ. Өгөршөөгүй боржин, боржиндиоритод CIA 45-55, шаварлаг чулуулагт CIA 75-85 байх бол каолинит, хлоритод 100 болно (Nesbitt and Young, 1982; Purevjav and Roser, 2012). 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) байсан гэж тооцно (Pedo et al., 1995). Нүүрсний дээжийн CIA 80-90 хооронд хэлбэлзэх ба дундаж нь 85 байна (CIA 67 бүхий нэг дээжийг хасав). Энэ нь хүлэр хуримтлагдаж байх үед уур амьсгал уур амьсгал халуун, чийглэг байж, химийн өгөршил эрчимтэй явагдаж байсныг харуулж байна.

Уур амьсгал халуун болоход Sr/Cu ихсэх бөгөөд усан сангийн давсжилт нэмэгдэхэд Sr/Ba нэмэгдэнэ (Сао et al.,

2012, 2015). Дээжийн Sr/Cu 2.9-12.7, Sr/Ba 0.8-3.6 хэлбэлзэнэ. Давхраас 5-с авсан дээжүүдийн Sr/Cu дундаж 7.4, харин дээд давхраасуудын (Давхраас 8, 9, 10) дээжийн дундаж 4.8 болно. Энэ нь Давхраас 5 хуримтлагдаж байх үед уур амьсгал илүү халуун байсныг илтгэнэ. Үүнээс гадна Давхраас 5-ийн Sr/Ba дунджаар 2.5, дээд давхраасуудынх 1.5 байгаа нь Давхраас 5 хуримтлагдаж байх үед усан сангийн давсжилт илүү их байсныг заана (Зураг 4). Петрографийн судалгаагаар Давхраас 5 болон 6-ийн инертинитийн агуулга өндөр, 23-35% байдаг. Харин дээд давхраасуудад инертинитийн агуулга 15% болж буурна (Хүснэгт 1). Хүлэрт намгийн усны төвшин багасахад усны төвшнөөс ил гарсан хүлэр исэлдэн, инертинит үүснэ (Diessel, 1992). Давхраас 5 хуримтлагдаж байх үед уур амьсгалилүү халуун (Sr/Cu өндөр) байсан тул ууршилт их явагдан, усны төвшин багасаж, хүлэр ил гарч исэлдэн, инертинитийн өндөр агуулга бүхий нүүрс үүсчээ. Ууршилтын улмаас усны давсжилт өндөр (Sr/Ba өндөр) болсон байна. Харин дээд давхраасууд хуримтлагдах үед уур амьсгал илүү зөөлөрч, чийгийн хэмжээ нэмэгдэн, усны төвшин ихэссэн тул инертинитийн агуулга багасаж, витринитийн өндөр

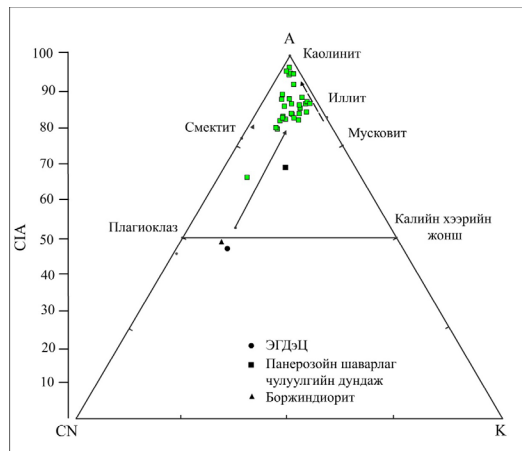
агуулга бүхий нүүрс үүсчээ. Халуун, чийг багатай үед усан сангийн гүн багасаж, усан сан дахь хүчилтөрөгчийн агуулга нэмэгдэх ёстой. Эсрэг тохиолдолд усан сангийн гүн нэмэгдэж, усан сангийн ёроолд хүчилтөрөгчийн агуулга багасана. Усан сан дахь хүчилтөрөгчийн хэмжээ Ni/Co, V/Cr-ийн агуулгад нөлөөлнө. Хүчилтөрөгчтэй орчинд Ni/Co ихсэж, V/Cr буурна (McLennan et al., 1993; Wang et al., 2016). Давхраас 5-ийн Ni/Co дунджаар 2.6, V/Cr дунджаар 1.8 бол дээд дэвхраасуудынх Ni/Co дунджаар 1.9, V/Cr дунджаар 2.6 байгаа нь Давхраас 5 илүү өндөр хүчилтөрөгчийн агуулга бүхий усан санд хуримтлагдсаныг нотолж байна.

Судлагдсан нүүрсний дээжүүдийн  $Al_2O_3$  (моль),  $CaO+Na_2O$  (моль),  $K_2O$  (моль) агуулгаар A-CN-K диаграм дээр буулгав (Зураг 5) (Nesbitt and Young, 1984). Үг зураг дээр A-CN тэнхлэгтэй параллелиар өгөршлийн трендийг зурж, чулуулгийн эх үүсвэрийн найрлагыг тодорхойлж болдог. Нүүрсэнд агуулагдаж буй чулуулаг нь боржиндиорит, дацитийн найрлагатай чулуулгийн угаагдлаар үүссэн байна. Дээжүүдийн CIA өөрчлөлттэй багатай байгаа нь тэжээгч мужид тектоник идэвхжил тогтвортой байж, чулуулаг химийн өгөршилд жигд өртсөнийг илтгэж байна (Nesbitt et al., 1997; Moradi et al., 2016).



Зураг 4. Эртний уур амьсгал, хуримтлалын орчныг тодорхойлоход ашигладаг зарим сарнимал элементийн өөрчлөлтийн зүй тогтол. Давхраас 5 хуримтлагдах үед уур амьсгал хуурай, чийг багатай байсан тул дээд давхраасуудтай харьцуулахад усан сангийн давсжилт өндөр, хүчилтөрөгчийн агуулга өндөр байв.



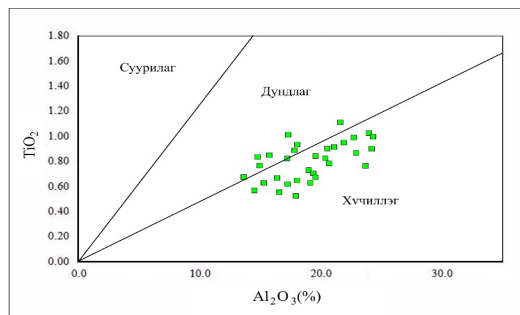


Зураг 5. А-CN-K диаграм дээр дээжүүдийг буулгасан нь.

### 5.3. Нүүрс агуулагч тунамал чулуулгийн эх үүсвэр

Тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийг химийн найрлага дээр нь тулгуурлан тогтоож болно. Al-, Ti-, Zr-ий ислүүд бага температурт усанд маш муу уусдаг тул тунамал хурдас дахь  $Al_2O_3/TiO_2$  эх чулуулагтайгаа ижил байна (McLennan et al., 1993, Hayashi et al., 1997).  $Al_2O_3/TiO_2 > 21$  бол хүчиллэг, 8-21 бол дундлаг,  $< 8$  бол суурилаг найрлагатай чулуулгаас үүссэн гэж үзнэ (Hayashi et al., 1997). Судалгааны дээжүүдийн  $TiO_2$  болон  $Al_2O_3$  агуулгыг харьцуулан Зураг 6-д үзүүлэв. Дээжийн дийлэнх нь хүчиллэг найрлагатай чулуулгийн талбайд, цөөн дээж дундлаг найрлагатай чулуулгийн талбайд бууж байна. Иймд нүүрсэнд агуулагдах үнс нь голчлон хүчиллэг найрлагатай чулуулгийн өгөршлөөр үүссэн бөгөөд бага хэмжээнд дундлаг найрлагатай чулуулаг оролцсон гэж үзэв. Өөрөөр хэлбэл хүлэр хуримтлагдаж байх үед хүчиллэг болон дундлаг найрлагатай чулуулгийн өгөршлийн бүтээгдэхүүн хүлэрт намагт зөөгдөн орж ирж байжээ. Энэ А-CN-K диаграммаар тодорхойлсон дацит болон дундлаг найрлагатай эх үүсвэрээс үүссэн гэсэн дүгнэлттэй нийцэж байна. Нарийнсухайтын нүүрс агуулсан дунд юрын Оргилохбулаг формацийн элсэн чулууны геохимийн судалгаагаар уг хурдсын гол

эх үүсвэрийг карбоны вулканоген болон интрузив чулуулаг гэж үзсэн (Байгалмаа нар, энэ дугаарт). Нүүрс хуримтлагдаж байх үед мөн эдгээр чулуулгийн угаагдал мөн үргэлжилж байжээ.



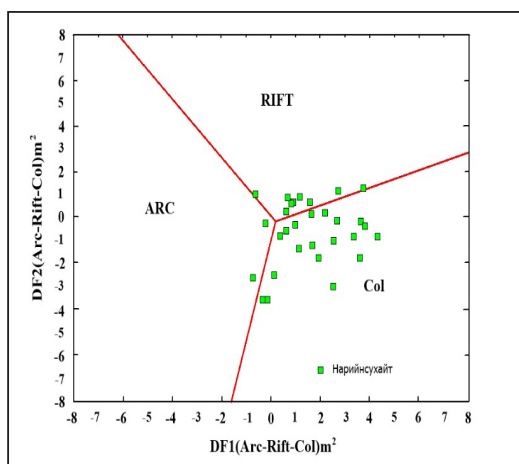
Зураг 6. Дээжүүдийн  $TiO_2$  ба  $Al_2O_3$  харьцуулсан диаграмм. Дийлэнх дээж хүчиллэг найрлагатай чулуулгийн талбайд бууна.

### 5.4. Дунд юрын хурдас хуримтлагдсан тектоникийн горим

Тектоник өөр нөхцөлд өөр өөр төрлийн магмын чулуулаг үүсдэг тул тэдгээрээс үүсэх тунамал чулуулгийн химийн найрлага ялгаатай. Иймд тунамал чулуулагт агуулагдаж буй гол ислийн найрлага дээр тулгуурлан тунамал хурдас хуримтлагдсан тектоникийн нөхцөлийг тодорхойлно (Bhatia, 1983; Bhatia & Crook, 1986; Roser & Korsch 1986-tectonics). Verma and Armstrong-Altrin (2013) маш олон тооны дээжийн үр дүнд статистик боловсруулалт хийж, тектоник нөхцөлийг тодорхойлох шинэ дискриминацийн диаграмм хийсэн. Энэ 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. Нүүрсний дээжүүдийн  $SiO_2$  агуулга  $< 63\%$  тул, зөвхөн бага цахиурын ислийн агуулгатай дээжинд зориулсан диаграммыг ашиглав (Зураг 7). Дээжүүдийн дийлэнх нь коллизийн талбайд бууж байгаа нь дунд юрын нүүрс нь коллизийн форланд хотгорт хуримтлагдсан болохыг илтгэнэ. Өмнөд Хятадын блок Азитай коллизд

ороход олон тооны форланд хотгорууд үүссэн бөгөөд Нарийнсухайт хотгорын зүүн хойно байрлах Ноёнгийн хотгорыг үүний нэг нь гэж үздэг. Ноёнгийн хотгор триасд үүссэн бөгөөд царцдасын шахалтын нөлөө юрын үед улам эрчимжсэн байна (Dumitru and Hendrix, 2001; Hendrix et al., 2001). Энэ үед Нарийнсухайтын форланд хотгор үүсэж, юрын хурдас тунамал хурдас болон их зузаантай нүүрс хуримтлагджээ.

хэсэг нь коллизын талбайд бууж байсан нь дунд юрын хурдас хуримтлагдсан тектоникийн нөхцөлийг биш эх үүсвэр чулуулгийн геодинамикийн нөхцөлийг зааж байв (Байгалмаа нар, энэ дугаар). Харин нүүрсний дээжүүдийн дийлэнх нь коллизын талбайд бууж байгаа нь өмнөх геологийн судалгааны үр дүнтэй илүү нийцэж байна. Иймд нүүрсний үнсний химийн шинжилгээний үр дүнг геологийн тайлалтанд ашиглах боломжтой нь харагдана.



**Зураг 7. Тунамал савын тектоникийн горимыг тодорхойлох диаграмм (Verma - Armstrong-Altin, 2013). Дээжүүдийн дийлэнх нь коллизийн талбайд буух тул Нарийнсухайт хотгорыг форланд хотгор гэж үзлээ. DF1 ба DF2 томъёо:  $DF1 = (0.608 \text{ Ч } \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)) + (-1.854 \text{ Ч } \ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)) + (0.299 \text{ Ч } \ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)) + (-0.550 \text{ Ч } \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)) + (0.120 \text{ Ч } \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)) + (0.194 \text{ Ч } \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)) + (-1.510 \text{ Ч } \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)) + (1.941 \text{ Ч } \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)) + (0.003 \text{ Ч } \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)) - 0.294$ ;  $DF2 = (-0.554 \text{ Ч } \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)) + (-0.995 \text{ Ч } \ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)) + (1.765 \text{ Ч } \ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)) + (-1.391 \text{ Ч } \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)) + (-1.034 \text{ Ч } \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)) + (0.225 \text{ Ч } \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)) + (0.713 \text{ Ч } \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)) + (0.330 \text{ Ч } \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)) + (0.637 \text{ Ч } \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)) - 3.631$ ;**

Дунд юрын Оргилохбулаг формацийн нүүрс агуулагч элсэн чулууны дээжийн дийлэнх арлан нумын талбайд, багахан

## 6. ДҮГНЭЛТ

Нарийнсухайт ордын баруун өмнө болон зүүн өмнө хэсэгт байрлах Баруун ба Зүүн ордод өрөмдсөн 4 цооногийн 120 дээжийн техникийн, элементийн болон геохимийн шинжилгээний үр дүнд боловсруулалт хийсний үр дүнд дараах дүгнэлтийг хийж байна. Үүнд:

1. Баруун болон зүүн ордын нүүрс нь Ч6 ангилалын нүүрс юм. Нүүрсний хувирлын зэрэг дээрээс доош нэмэгдэж, доод давхраасууд хагас коксжино. Үнс, хүхрийн агуулга дээрээс доош буурна.
2. Нүүрсний үнсний геохимийн шинжилгээний үр дүнд хүлэр хуримтлагдаж байх үед хүчиллэг болон дундлаг найрлагатай чулуулаг угаагдан, хүлэрт намагт зөөгдөн орж ирж байсан байна. Хүлэр хуримтлагдаж байх үед тектоникийн нөхцөл харьцангуй тогтвортой байжээ.
3. Дунд юрын нүүрс агуулсан Нарийнсухайт хотгор нь царцдасын агшилтын нөлөөгөөр бий болсон форланд хотгор юм. Уг хотгор триасаас эхлэн юрын дунд үед эрчимжсэн өмнөөс хойш чиглэсэн шахалтын нөлөөгөөр, триасын Ноёнгийн хотгорын дараа үүсчээ.
4. Хүлэр нь халуун, чийглэг уур амьсгалд хуримтлагдсан байна. Доод давхраас болох Давхраас 5 хуримтлагдаж байх үед уур амьсгал

илүү хуурай, халуун байсан бөгөөд дээд давхраасууд болох Давхраас 8, 9, 10 хуримтлагдах үед илүү чийглэг уур амьсгалтай болсон гэж тайлалт хийж байна.

- Нүүрсний үнсний химийн шинжилгээний үр дүнд хийсэн тайлалт нь нүүрс агуулагч элсэн чулууны тайлалттай ижил (чулуулгийн эх үүсвэрийн тухайд), зарим талаар өмнөх геологийн судалгааны үр дүнтэй илүү нийлэмжтэй байна (тектоникийн нөхцөл). Иймд нүүрсний ордын хайгуулын үед цуглардаг химийн шинжилгээний үр дүнг тунамал савын судалгаанд ашиглах боломжтой гэж үзэв.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

АМГТГ 2021.Эрдэс баялагийн статистикийн мэдээ 2020/12. <https://mrpam.gov.mn/article/165/> (2021 оны 5 сарын 1-нд авав).

- Байгалмаа, Н., Эрдэнэчимэг, Д., Эрдэнэцогт, Б., Жаргал, Л., Огата, Т., Эрдэнэбаяр, Ж., Баатархуяг, А., Нансалмаа, Д., Билгүүн, Л., (энэ дугаар). Өмнөд Монголын дунд юрын уур амьсгал, геодинамикийн нөхцөл. I хэсэг: Нарийнсухайт ордын элсэн чулууны геохимийн судалгаа
- Жаргал, Л., Эрхэмбаяр, Э., Байгалмаа, Н., Батгэрэл, С., Энхтүвшин, Э., 2019. Овооттолгой ордын нүүрс болон агуулагч чулуулгийн петрографийн судалгааны үр дүнгээс. Геологийн асуудлууд 17 (519), 124-143.
- Очирбат, М., Эрхэмбаяр, М., Болдбаяр, Н., 2006. Өмнөговь аймгийн Гурвантэс сумын нутагт орших Нарийнсухайтын нүүрсний ордын Баруун ба Зүүн өмнөд хэсэгт 2005 онд явуулсан хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан. "Айвенхоу Майнз Монголиа Инк".
- Саусгоби сэндс ХХК, 2015. Өмнөговь аймгийн Гурвантэс сумын нутагт орших Нарийнсухайтын нүүрсний ордын

Баруун ба Зүүн өмнөд хэсэгт 2008-2014 онд явуулсан хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан.

- 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
- Caο, 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.
- Caο, 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.
- Diessel, C.F.K., 1992. *Coal-bearing Depositional Systems*. Springer-Verlag, Berlin
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Moradi, V., Sari, A., Akkaya, A., 2016. Geochemistry of the Miocene oil shale (Hanzili Formation) in the Zankırı-Sorum 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.
- Purevjav, 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.
- 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.
- Thomas, L., 2012. *Coal geology*. 2<sup>nd</sup> edition, Wiley-Blackwell.
- 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.
- 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.