



## Завхан аймгийн халуун рашаануудын химийн найрлага, геотермометрийн судалгаа

Ч.Болормаа<sup>1,2</sup>, Д.Оюунцэцэг<sup>3</sup>, О.Болормаа<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Химийн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар, 14201, Монгол

<sup>2</sup>Хими-биологийн тэнхим, Байгалийн шинжлэл технологийн сургууль, Ховд их сургууль, Ховд 164300, Монгол

<sup>3</sup>Шинжлэх ухааны академи, Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Улаанбаатар 13330, Монгол улс

\*E-mail: bolormaa@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 20.11.2019

Хяналтанд: 22.11.2019

Хэвлэлтэнд авсан: 23.12.2019

**Хураангуй:** Бид энэхүү судалгааны ажлаар Завхан аймгийн нутагт орших Отгонтэнгэр, Зарт, Цэцүүх, Улаан хаалга, Хожуулын халуун рашаануудын гидрохимийн найрлагыг нарийвчлан тогтоосоны үндсэн дээр тухайн рашаануудын газрын гүний халуун усны температур болон гүнийг тогтоох зорилго тавин ажиллаа. Завхан аймгийн рашаанууд нь халуун 33.4-45.5°C температуртай, шүлтлэг орчинтой (pH 8.4-9.56), 170-473 мг/л хүртэл эрдэсжилтэй, HCO<sub>3</sub>-Na болон SO<sub>4</sub>-Na-ийн төрлийн халуун рашааны ангилалд хамаарагдаж байна. Эдгээр рашаануудаас Цэцүүхийн халуун рашааны исэлдэн ангижрах потенциал нь -0.8 мВ, ууссан устөрөгчийн агуулга 0.22 мг/л илэрсэн нь судалгаанд хамрагдсан бусад рашаануудтай харьцуулахад ангижрах төлөвт оршиж байгаа бөгөөд илүү эмчилгээний идэвхтэй болохыг харуулж байна. Судалгаанд хамрагдсан халуун рашаануудын гүний температурыг химийн найрлагаас нь хамааруулан хэд хэдэн геотермометрийг ашиглан тооцоход дунджаар 102-149°C байсан ба энэ нь бага температуртай усны ангилалд хамаарагдаж байгаа учир тухайн халуун усны нөөцийг өрөө тасалгаа халаах болон бинари системийг ашиглан цахилгаан гаргаж авах боломжтой байна. Мөн Завхан аймгийн халуун рашаануудын газрын гүний халуун усны нөөц нь газрын гадаргаас доош 1.3-3.7 км-ийн гүнд байрладаг болохыг орд дээрх температур, газрын гүний халуун усны температур болон бүс нутгийн геотермал градиентад үндэслэн тооцоолон тодорхойллоо.

**Түлхүүр үг:** Гидрохими, халуун рашаан, геотермометр, гүний температур.

### ОРШИЛ

Газрын гүний халуун ус нь дэлхийн дотоод цөмөөс байнга ундрэн гарч байдаг байгалийн цэвэр бүтээгдэхүүн бөгөөд түүнээс гарган авах эрчим хүч нь экологи-эдийн засгийн өндөр үр ашигтай, экологийн цэвэр, нөхөн сэргээгдэх эрчим хүч болдог [1]. Газрын гүний халуун усыг өндөр буюу бага температурын гэж 2 ангилдаг. Өндөр температурын системийн хувьд газрын доорх усны температур 1000 м хүртэлх гүнд 200°C-аас дээш байдаг бол бага температурынх нь 150°C-аас хэтэрдэггүй бөгөөд халуун рашааны газар дээрх илрэлүүд нь 20-100°C температуртай олон тооны ундарга сайтай булгуудаар тодорхойлогддог байна [2].

Олон улсад газрын гүний халуун усыг шууд болон шууд бус замаар өргөн ашиглаж байна. Шууд бус хэрэглэнд орон сууц халаах болон үйлдвэрлэл, хүрээлэн буй орчны тохижилт, аж ахуйдаа (загас үржүүлэх, цас хайлуулах, хүнсний ногоо тарих, хүлэмжийн зориулалтаар) ашигладаг байна. Газрын гүний халуун усны дулааны нөөцийг шууд хэрэглэдэг томоохон цахилгаан станц нь 725 МВт хүчин

чадалтай АНУ-ын Калифорни дахь Гейзер цахилгаан станц юм. Сүүлийн үеийн судалгаагаар дэлхийн 26 улс орнууд газрын гүний дулаанаас цахилгаан эрчим хүч гаргаж авсны дотор АНУ 77 тэрбум кВт/ц эрчим хүч, Филиппин АНУ-ын дараа буюу 11 тэрбум кВт/ц цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэж, дэлхийн үйлдвэрлэлийн 13 орчим хувийг эзэлж байна [3].

Манай улс анх 1973 онд Их Шаргалжуутын халуун рашааныг халаалтанд ашиглаж сувилал, зоогийн газар, бальнеологи, хүлэмжийн халаалтанд ашиглаж эхэлсэн байдаг [4]. Манай орны геотермал системийг Монгол Алтай, Хангай, Хэнтий, Хөвсгөл, Дорнод Монголын бүс гэж ангилдаг. Эдгээрээс Хангайн бүсэд дийлэнх буюу 32 халуун рашаан тархсан бөгөөд Орхон-Таац, Байдраг-Тамир, Тарвагатай-Улиастай гэсэн дэд геотермал системүүдээс бүрдэнэ. Эдгээр дэд системүүд нь геотектоникийн бүтэц, хагарал, гидрогеологийн нөхцөл, дулааны идэвхи, физик болон химийн шинж чанараараа ялгаатай байдаг [4,5].

Хангайн геотермал системийн халуун рашааны судалгааг (Батсүх нар, 1999), Цэнхэр, Шивэртийн халуун рашаан (Dorj, Tseesuren, 2001), Шаргалжуут,

Шивэрт, Цэнхэр, Чулуут, Естийн халуун рашааныг (Д.Ганчимэг 2010), Хангайн бүсийн халуун рашааны химийн найрлага, изотопын шинж чанарыг (Д.Оюунцэцэг 2012) нар тус тус судалсан байна [5]. Өмнөх судлаачдын ажлуудаар Хангайн бүсийн халуун рашаануудын химийн шинжилгээг хийж гүйцэтгэснээр рашаануудын гүний температур 80-180°C болохыг тогтоосон бөгөөд Хангайн бүсийн газрын гүний халуун усны дулааныг эрчим хүчний хувьд хүчтэй болохыг тодорхойлсон байдаг.

Бид энэхүү судалгааны ажлаар Хангайн геотермал системийн Тарвагатай-Улиастайн дэд системд харьяалагдах Завхан аймгийн халуун рашаануудын гидрохимийн найрлагыг нарийвчлан тогтоосны үндсэн дээр тухайн рашаануудын газрын гүний халуун усны температур болон гүнийг тогтоох зорилго тавин ажиллаа.

### СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Завхан аймгийн Зарт, Цэцүүх, Улаан хаалга, Хожуул, Отгонтэнгэр зэрэг нийт 5 халуун рашааны ордуудаас 2016 онд усны дээж цуглуулан гидрохимийн шинжилгээнд хамруулав. Рашааны дээж авсан цэгийн байршлыг *Зураг 1*-д үзүүлэв. Халуун рашааны дээжинд физик-химийн үзүүлэлтүүд болох температур, рН, нийт ууссан бодис (TDS), цахилгаан дамжуулах чанар (ЦДЧ), исэлдэн ангижрах потенциал (ИАП, ORP) зэрэг үзүүлэлтүүдийг хээрийн нөхцөлд мультипараметрийн багажаар (Hanna HI-9828 АНУ) тодорхойлсон. Усанд ууссан устөрөгч (H<sup>+</sup>)-ийг (ENH-1000 Япон) багажаар, гол ионуудын агуулгыг (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) эзлэхүүний аргаар харин Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ба F<sup>-</sup> ионуудыг индукцийн холбоост плазмын оптикийн цацаргалтын спектрометрийн (ICP-OES) аргаар тус тус тодорхойлов [6]. Рашааны

гидрохимийн үр дүнг Гурвалжингийн диаграмм, химийн геотермометрийг Watch, Aquachem 2014 программыг ашиглан боловсруулалтыг хийж гүйцэтгэв.

**Химийн геотермометрууд:** Энэ арга зүйг газрын гүний халуун усны температурыг урьдчилан тооцоолох, таамаглахад ашигладаг. Химийн геотермометруудийг цахиурын, катионы буюу шүлтийн, хийн, изотопын гэсэн төрлүүдэд ангилдаг байна. Судалгаанд хамрагдсан Завхан аймгийн халуун рашаануудын газрын гүний халуун усны температурын тооцоонд цахиурын (калцедон, кварц); катионы буюу шүлтийн (Na-K болон Na-K-Ca) геотермометрийг ашиглан тооцооллоо [7, 8]. Цахиурын геотермометрууд нь калцедон болон кварцын уусалтыг судалж тодорхойлсон үр дүн дээр үндэслэгдэнэ. Катионы геотермометр нь тэнцвэржилтийн тогтмол утга, температураас хамааралтай ион солилцох урвал дээр үндэслэгдэг байна. Завхан аймгийн халуун усны орд газруудын гадаргуугийн бус температурыг калцедон, кварцын болон Na-K, Na-K-Ca дараах тэгшитгэлүүдийг ашиглан тооцоолж үр дүнг *Хүснэгт 3*-д үзүүлэв.

### ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

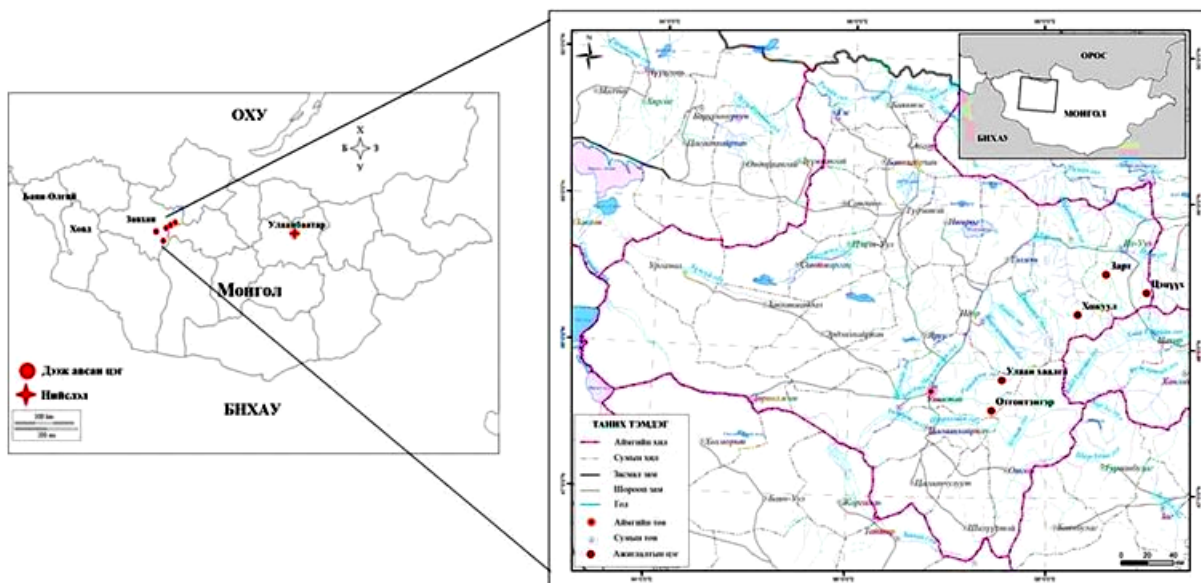
**Рашааны физик-химийн үзүүлэлтүүд:** Рашаанд агуулагдах физик-химийн үзүүлэлтүүд нь тухайн рашааны шинж чанарыг илтгэдэг чухал үзүүлэлтүүд

Кварц - (Fournier, 1977):

$$T = \frac{1522}{5.75 - \log SiO_2} - 273.15 \quad (1)$$

Калцедон – (Arnorsson et al, 1983b):

$$T = \frac{1112}{4.91 - \log SiO_2} - 273.15 \quad (2)$$



*Зураг 1. Рашааны дээж авсан цэгийн байршил*

Калцедон – (Fournier, 1977):

$$T = \frac{1032}{4.69 - \log \text{SiO}_2} - 273.15 \quad (3)$$

Na-K – (Arnorsson et al, 1983b)

$$T = \frac{933}{0.933 + \log \text{Na/K}} - 273.15 \quad (4)$$

Na-K – (Giggenbach et al, 1988)

$$T = \frac{1390}{1.750 + \log \text{Na/K}} - 273.15 \quad (5)$$

Na-K-Ca – (Fournier and Truesdell, 1973)

$$T = \frac{1647}{(\log \text{Na/K} + \beta \log \text{Ca}0.5/\text{Na} + 2.06) + 2.47} - 273.15$$

$$\beta = \frac{4}{3} \quad T < 100^\circ\text{C}$$

юм. Судалгаанд хамрагдсан Завхан аймгийн халуун рашаануудын физик-химийн үзүүлэлтүүдийн үр дүнг Хүснэгт 1-т үзүүлэв.

Хүснэгт 1-с харахад В.В.Иванов, Г.А.Невраевын хүчил шүлтийн ангиллаар рН = 8.40 - 9.56 буюу шүлтлэг орчинтой байна. Ихэнх судлаачид рашааныг температураар нь 6-7 бүлэг болгон ангилдаг бөгөөд ихэвчлэн В.В.Иванов, Г.А.Невраев нарын ангиллыг өргөн ашигладаг. Энэ ангиллаар Цэцүүхийн рашааны температур 33.4°C буюу бүлээн, Улаан хаалга, Зарт, Хожуул, Отгонтэнгэрийн рашааны температур 36.3-45.5°C буюу халуун рашааны ангилалд багтаж байна. Гүний усны нийт ууссан давсны хэмжээг гадаргын усныхтай харьцуулахад их байдгийн учир нь урт хугацааны туршид ус, чулуулагтай харилцан үйлчилж баяжигдаж байдагтай холбоотой юм [9]. Завхан аймгийн халуун рашаануудын хувьд нийт ууссан бодисын агуулга 170-473 мг/л-ийн хооронд хэлбэлзэж байгаа бөгөөд (TDS < 0.5 г/л) бага эрдэсжилттэй усны ангилалд хамаарагдаж байна. Рашааны ЦДЧ нь 34.0-55.6 ms/m байгаа нь нийт ууссан бодисын агуулга бага байгаагаар тайлбарлаж болно [9]. Харин рашааны ИАП-ыг тодорхойлсноор тухайн рашааны исэлдэх, ангижрах төлөвт оршиж байгааг тодорхойлох боломжтой болдог [9,10]. Судалгаанд хамрагдсан

халуун рашаануудын хувьд ИАП-ын утга -0.8-аас +49.1 мВ хооронд хэлбэлзэж байна. Эдгээрээс Цэцүүхийн рашааны ИАП-ын утга -0.8 мВ, ууссан устөрөгч (H<sup>+</sup>) –ийн агуулга 0.22 мг/л агуулагдаж байгаа нь геохимийн процессын хувьд ангижрах төлөвтэй буюу уг рашаан нь антиоксидант чанартай болохыг харуулж байна.

#### Рашааны химийн найрлага:

Усыг бүрдүүлэх үндсэн гол ионуудад Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> ордог. Рашаанд агуулагдаж байгаа анион, катионы агуулгаас хамааруулан усны найрлага, төрөл, зүй тогтолыг тодорхойлох боломжтой болдог. Завхан аймгийн халуун рашаануудын 2016 оны химийн найрлагыг Б.Арьяадагва болон бусад судлаачдын 1977 оны судалгааны үр дүнтэй харьцуулан [11] Хүснэгт 2-т үзүүлэв.

Шинжилгээний үр дүнгээс харахад Зарт, Хожуул, Цэцүүх, Отгонтэнгэр зэрэг халуун рашаануудын катионуудаас Na<sup>+</sup> 70.8-86.3 мг/л хүртэл агуулж байхад бусад K<sup>+</sup> 1.8-3.3 мг/л, Ca<sup>2+</sup> 1.6-5.4 мг/л, Mg<sup>2+</sup> 0.1-0.7 мг/л хүртэл тус тус бага агуулагдаж байна. Харин Хожуулын халуун рашааны анионоос HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 103.1 мг/л байхад Отгонтэнгэрийн анионоос HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 96.4 мг/л, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 61.9 мг/л тус тус зонхилон агуулж байна. Мөн Зарт, Цэцүүх зэрэг халуун рашаануудын анионоос SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 86.4-101.8 мг/л, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 50.6-73.7 мг/л хүртэл зонхилон агуулагдаж байна. Үүнээс харахад судалгаанд хамрагдсан бүх халуун рашаануудын катионуудаас натрийн ион зонхилж байхад анионуудын хувьд дан гидрокарбонатын ион болон гидрокарбонат-сульфат, сульфат-гидрокарбонатын ионууд зонхилсон холимог найрлагатай байна. Харин Улаанхаалгын халуун рашаанд катионуудаас Na<sup>+</sup> 121.8 мг/л, K<sup>+</sup> 4.7 мг/л, Ca<sup>2+</sup> 3.6 мг/л, Mg<sup>2+</sup> 0.2 мг/л байхад анионуудаас SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 201.8 мг/л, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 47 мг/л хүртэл тус тус агуулж байна (Хүснэгт 2). Эндээс харахад Улаанхаалгын халуун рашаан нь бусад судалгаанд хамрагдсан рашаануудаас анион, катионы агуулга өндөртэй эрдэсжилт ихтэй рашаан байна. Мөн судалгаанд хамрагдсан халуун рашаануудын 2016 оны химийн шинжилгээг 1977 оны судалгааны үр дүнтэй харьцуулахад үндсэн элементүүдийн хувьд тоон утгын бага зэргийн зөрүү байхаас бүтэцийн хувьд өөрчлөлтгүй байгааг тодорхойллоо (Хүснэгт 2). Рашаан нь бусад уснаас температур, усны орчин,

Хүснэгт 1. Рашааны физик-химийн үзүүлэлт

Рашааны нэр	T <sub>ус</sub> °C	EC mS/m	TDS мг/л	ORP мВ	pH	H <sup>+</sup> мг/л
Улаанхаалга	45.5	42.0	473	1.90	9.00	-
Хожуул	42.0	34.0	170	49.1	9.00	-
Зарт	36.3	46.8	234	2.00	8.40	-
Цэцүүх	33.4	55.6	277	-0.80	8.60	0.22
Отгонтэнгэр	45.3	44.7	227	18.9	9.56	-

Тайлбар: (-) илрээгүй

биологийн идэвхт хэд хэдэн элемент нэгдлүүдийг агуулдаггаараа ердийн уснаас ялгардаг бөгөөд тэдгээр элементүүд нь хүний бие организмд эмчилгээний нөлөө үзүүлдэг юм [12]. Судалгаанд хамрагдсан халуун рашаанууд нь бүлээнээс халуун температуртай, шүлтлэг орчинтой, цахиурын исэл 56-110 мг/л, фторын агуулга 4.5-13.4 мг/л агуулгатай байгаа нь эмчилгээнд хэрэглэх халуун рашааны үндсэн шалгуурыг хангаж байна. Гэвч манай орны

халуун рашаануудад  $\text{HCO}_3^-$  ион, Цэцүүх, Зарт, Улаанхаалга зэрэг халуун рашаануудад  $\text{SO}_4^{2-}$  ион давамгайлсан байна. Үүнээс харахад судалгаанд хамрагдсан Завхан аймгийн 5 халуун рашааны Хожуул, Отгонтэнгэрийн халуун рашаанууд нь  $\text{HCO}_3^-$ -Na төрлийн харин Цэцүүх, Зарт, Улаан хаалгын халуун рашаанууд нь  $\text{SO}_4$ -Na төрлийн халуун рашааны төрөлд хамаарагдаж байна.

$\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+$  тернарийн диаграмм. Тернарийн

Хүснэгт 2. Завхан аймгийн халуун рашаануудын химийн найрлага, мг/л

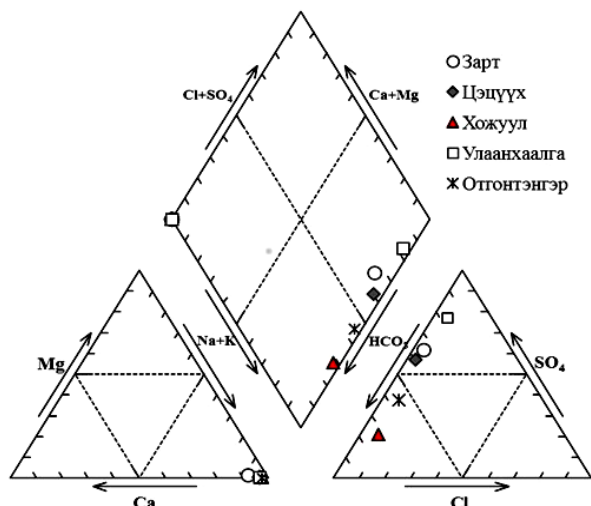
№	Рашааны нэр	он	$T_{yc}$ , °C	pH	Na	K	Ca	Mg	$\text{CO}_3$	$\text{HCO}_3$	Cl	$\text{SO}_4$	$\text{SiO}_2$	F
1	Зарт	2016	36.3	8.4	78.4	1.8	5.4	0.7	10.5	50.6	4.1	86.4	59.0	4.5
		1977	44.0	8.8	81.0	1.9	6.2	0.2	15.0	79.8	4.2	103.0	61.2	10.5
2	Улаан хаалга	2016	45.8	9.0	121.8	4.7	3.6	0.2	10.6	47.0	10.5	201.8	76.0	13.4
		1977	37.0	8.5	148.0	5.5	8.2	0.8	10.5	70.0	16.0	205.0	75.0	13.0
3	Хожуул	2016	42.0	9.0	70.8	3.2	1.6	0.2	23.1	103.1	7.1	29.3	101	6.0
		1977	45.0	9.5	69.0	3.1	1.4	0.1	33.0	115.0	8.7	33.0	104	6.5
4	Цэцүүх	2016	33.4	8.6	86.3	3.3	2.6	0.2	16.3	73.7	4.3	101.8	85.0	11.6
		1977	36.1	9.2	98.0	3.2	3.4	0.4	33.0	80.0	6.2	112.0	110.0	10.5
5	Отгонтэнгэр	2016	44.7	9.6	81.4	2.0	1.8	0.1	19.5	96.4	8.2	61.9	67.0	5.0
		1977	56.0	8.5	104.0	2.3	3.7	0.1	28.0	102.6	8.7	72.7	77.8	10.5

ундны усны стандарт (MNS 0900:2005)-д заасан фторын агуулга ( $F < 1.5$  мг/л) ихгүй гэж тогтоосон байдаг учир халуун рашааныг ууж хэрэглэхэд тохиромжгүй байна.

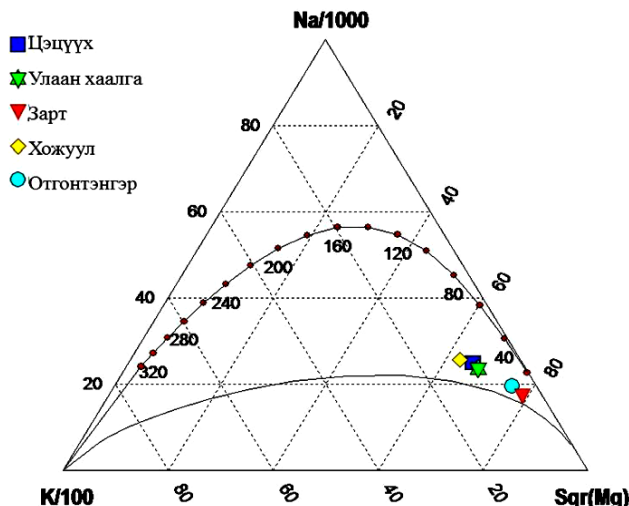
Завхан аймгийн 5 халуун рашааны химийн найрлагыг Гурвалжингийн диаграммаар Зураг 2-т үзүүлэв. Энэхүү диаграмм нь усан дахь катион ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) ба анионы ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) тархалтаар тухайн рашааны анги төрлийг илэрхийлэх ба усны гидрохимийн шинж чанарыг харуулдаг юм [13].

Зураг 2 -ын катионы гурвалжингаас харахад судалгаанд хамрагдсан бүх халуун рашаануудад  $\text{Na}^+$  ион давамгайлсан байна. Харин анионы гурвалжингаас харахад Хожуул, Отгонтэнгэрийн

диаграмм нь систем дэх ( $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+$ ) шүлтийн металлын концентрациар усны температур ба усны тэнцвэрт байдлыг үнэлэхэд ашиглагддаг. Энэ диаграммад үндэслэн газрын гүний халуун усыг бүрэн тэнцвэржсэн ус, хэсэгчилсэн тэнцвэржсэн ус, тэнцвэр тогтоогүй ус гэж ангилна [14]. Мөн газрын гүний халуун усны температурыг тооцоолон гаргадаг. Зураг 3-с харахад, Завхан аймгийн халуун рашаанууд нь Na-K тэнцвэрийн шугамаас хол буюу тэнцвэр тогтоогүй усны бүсэд байгаа нь эрдэс бодисууд /термодинамик/ тэнцвэрт байдалд оршдоггүй болохыг харуулж байна. Мөн энэ шүлтийн металлын гурвалжингийн диаграммаас (Giggenbach, 1988) харахад судалгаанд хамрагдсан халуун рашаануудын газрын гүний халуун усны



Зураг 2. Гурвалжингийн диаграмм



Зураг 3.  $\text{K}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{Na}^+$  тернарийн диаграмм (Giggenbach, 1988)

температур 80-130°C байгааг тооцоолон харуулж байна.

**Химийн геотермометр.** Химийн геотермометр нь газрын гүний усан сангийн температурыг тодорхой химийн урвал эсвэл изотопын шинж чанарт тулгуурлан тооцдог [15]. Усны геотермометрыг тооцоход цахиурын (кварц ба калцедон), ууссан шүлтгийн металлын ионууд (Na-K, Na-K-Ca) чухал үүрэгтэй байдаг [7].

Геотермалын градиент нь улс орон бүрт харилцан адилгүй байдаг бөгөөд Монгол орны хувьд Хангайн бүсийн геотермал градиент нь 45-80°C/км байна гэж тогтоосон байдаг [16]. Завхан аймгийн 2016 оны төлөв байдлын тайланд дурьдсанаар Завхан аймгийн агаарын жилийн дундаж температур -2.2 -6.8°C байна. Агаарын дундаж температур, геотермометр болон бүс нутгийн геотермал градиент утгыг ашиглан газрын гүний халуун усны байрлаж буй

**Хүснэгт 3. Рашааны гүний усан сангийн температур T°C**

№	Рашааны нэр	Тооц	Кварц <sub>(1)</sub>	Калцедон <sub>(2)</sub>	Калцедон <sub>(3)</sub>	Na-K <sub>(4)</sub>	Na-K <sub>(5)</sub>	Na-K-Ca <sub>(6)</sub>
1	Зарт	102	109	81	80	89	136	117
2	Улаан хаалга	133	120	94	94	125	167	197
3	Хожуул	149	133	110	111	137	176	230
4	Цэцүүх	135	125	100	101	123	165	194
5	Отгонтэнгэр	119	115	87	87	93	140	192

Тайлбар: 1) Fournier (1977) 2) Arnorsson et al (1983b) 3) Fournier (1977) 4) Arnorsson et al (1983b)  
5) Giggenbach et al (1988) 6) Fournier and Truesdell (1973)

Хүснэгт 3-ээс харахад кварцын геотермометрийг (Fournier (1977), калцедоны геотермометрийг (Arnorsson et al (1983b) ба (Fournier 1977) тооцоход газрын гүний халуун усны температур (109-133°C), (81-110°C) ба (80-111°C) байна. Na-K геотермометрийг *Arnorsson et al (1983b)* ба (*Giggenbach et al 1988*) аргаар тооцоход (89-137°C) ба (136-176°C) температуртай байхад Na-K-Ca геотермометрийг (Fournier; Truesdell 1973) аргаар тооцоход температур нь (117-230°C) байна. Эндээс Завхан аймгийн халуун рашаануудын газрын гүний халуун усны дундаж температур (102-149°C) байгаа нь Nicholson (1993) ангиллаар T<150°C буюу бага температуртай газрын гүний халуун усны нөөцтэй болохыг харуулж байна.

Газрын гүний халуун усыг дулаан болон цахилгаан эрчим хүчний зориулалтаар ашиглахын тулд тэдгээрийн гүнийг тогтоох нь чухал юм. Газрын гүний халуун усны бассений гүнийг инженерийн өрөмдлөгөөр тогтоохоос гадна газрын гүний халуун усны температурыг тооцоолсон үр дүн болон бүс нутгийн геотермал градиентад үндэслэн тооцож гаргадаг [15]. Газрын доорх усан сангийн гүнийг Хүснэгт 4-т үзүүлэв.

**Хүснэгт 4. Халуун рашааны газрын доорх усан сангийн температур, гүн**

Рашааны нэр	Усан сангийн температур °C/	Усан сангийн эргэлтийн гүн /км/
Отгонтэнгэр	117	1.4-2.9
Зарт	105	1.3-2.6
Цэцүүх	129	1.6- 3.2
Хожуул	149	1.8- 3.7
Улаанхаалга	126	1.6-3.2

усан сангийн эргэлтийн гүнийг тооцоолбол 1.3-3.7 км гүнд байрлаж болохыг тооцоолон тогтоолоо.

#### ДҮГНЭЛТ

Завхан аймгийн халуун рашаанууд нь бага эрдэсжилттэй, шүлтлэг орчинтой, найрлагын хувьд HCO<sub>3</sub>-Na болон SO<sub>4</sub>-Na төрөлд багтаж байна. Цэцүүхийн халуун рашааны исэлдэн ангижрах потенциал нь -0.8 мВ, ууссан устөрөгчийн агуулга 0.22 мг/л илэрсэн нь судалгаанд хамрагдсан бусад рашаануудтай харьцуулахад ангижрах төлөвт оршиж байгаа бөгөөд илүү эмчилгээний идэвхтэй болохыг харуулж байна. Завхан аймгийн халуун рашааны газрын гүний халуун усны гүний температур нь дунджаар 105-149°C буюу бага температуртай халуун усны ангилалд хамаарагдаж байгааг тогтоолоо. Мөн судалгаанд хамрагдсан халуун рашаануудын газрын гүний халуун усны усан сан газрын гадаргаас доош 1.3-3.7 км-ийн гүнд байрладаг болохыг тооцоолон тодорхойлов. Иймээс Завхан аймгийн халуун рашаануудын гүний халуун усыг хүлэмж, бассейн, байр орон сууц халаах зэрэгт шууд хэрэглэх бөгөөд бинары системийг ашиглан цахилгаан эрчим хүчний зориулалтаар ашиглах боломжтой байна.

#### АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Д. Ганчимэг. (2012) Геотерм буюу газрын гүний дулааныг ашиглах боломжийг судлах ажлыг өргөжүүлэх. *Хими, химийн технологийн хүрээлэн, ШУА, тайлан*. УБ. 2012.
2. J.W. Lund, D.H. Freeston, T.L. Boyd. (2010) Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*. Indonesia. 25-29 April 2010.
3. Energy information administration. *Use of*



- geothermal energy*. June 10 2019.
4. I. Lkhagvadorj and B. Tseesuren. (2005) April. Geothermal energy resources, present utilization and future developments in Mongolia. *In World Geothermal Congress (WGC-2005)*, Antalya, Turkey. p. 24-29.
  5. D. Oyuntsetseg. Isotopic and geochemical study of geothermal fluids in Mongolia for geothermal exploration. (2014) PhD diss., Department of Environmental Biology and Chemistry, University of Toyama, Japan.
  6. О.А. Алекин. (1970) *Основы гидрохимии*. Ленинград 1970. с. 260-280.
  7. S. Arnorsson. (1975) Application of the silica geothermometer in low temperature area in Iceland. *American Journal of Science*. 275. p. 763-784.
  8. R.O. Fournier and A.H. Truesdell. (1973) An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica and Cosmochimica Acta*. 37.
  9. П.П. Климентов. (1981) *Общая гидрогеология*. Москва. p. 269.
  10. Н. Жадамбаа. (1997) Монгол орны газар доорх цэнгэг ус бүрэлдэн тогтох зүй тогтол, түүний нөөцийг усан хангамжит холбогдуулан үнэлэх. Докторын дисс. УБ.
  11. Б. Арьяадагва, П. Доржсүрэн, Б. Намбар, Б.И. Писсарский, Г.М. Шпейзер. (1980) БНМАУ-ын рашаан, эрэдст нуур. *Эрдэм шинжилгээний тайлан*. Хими, химийн технологийн хүрээлэн. ШУА.
  12. Ц. Алтанцэцэг. (1983) Роль физико-химических процессов в формировании минеральных вод различного генезиса Монголии. Дисс. хим. наук. 1983.
  13. D. Oyuntsetseg. (2009) Geochemical characterization of thermal fluids from the Khangay area, central Mongolia, *Geothermal training programme, reports* 2009.
  14. H. Besser, N. Mokadem, B. Redhaounia. (2018) Groundwater mixing and geochemical assessment of low enthalpy resources in the geothermal field of southwestern Tunisia. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. Published online: 21 February 2018.
  15. A. Shestakova, N. Guseva, Y. Kopylova. (2018) Geothermometry and isotope geochemistry of CO<sub>2</sub>-Rich thermal waters in Choygan, *East Tuva, Russia, Water*. Published: 4 June 2018.
  16. Н. Батсүх. (2012) *Гидрогеологи*, УБ. х. 82-85.

## Study of geothermometers and chemical composition of hot springs in zavkhan province

Ch. Bolormaa<sup>1,2</sup>, D. Oyuntsetseg<sup>3</sup>, O. Bolormaa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14201, Mongolia

<sup>1,2</sup>Department of Chemical –biology, School of Natural Science and Technology, Khovd University, Khovd 164300, Mongolia

<sup>3</sup>Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia

\*E-mail: bolormaa@num.edu.mn

---

Хүлээн авсан: 20.11.2019

Хяналтанд: 22.11.2019

Хэвлэлтэнд авсан: 23.12.2019

---

**Abstract:** In this study, we collected hot spring water sample from Otgontenger, Tsetsuukh, Zart, Ulaan Khaalga and Khojuul in Zavkhan province. The purpose of this study is to determine the temperature of geothermal water and its depth which based on the hydrochemical component. Hot spring water analyses showed that temperature ranges between 33.4 to 45.5°C, pH ranges 8.40 to 9.56, and the total dissolved solid amount was 170 to 473 mg/L. From the result of hydrochemical analyses, hot spring samples were included in SO<sub>4</sub>-Na and HCO<sub>3</sub>-Na type. In comparison to other hot spring samples, Tsetsuukh hot spring has shown negative oxidation reduction potential, -0.8 mV and dissolved hydrogen, 0.22 mg/L. Therefore, it has a higher ability for medical treatment than other hot spring water due to its reduction state. The reservoir temperature of these hot springs is calculated by several geothermometer methods, and temperatures ranged between 102°C to 149°C. According to this result, it assumed that geothermal water with low temperature which has the ability to use for room heating and producing energy by the binary system. Thus, we determined that reservoir depth is 1.3 to 3.7 km using annual average surface and reservoir temperature, and regional geothermal gradient.

**Keywords:** *Hydrochemical, hot spring, geothermometer, reservoir temperature.*

© The Author(s). 2019 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

DOI: <https://doi.org/10.5564/bicct.v0i7.1275>