



Монгол орны баруун бүсийн халуун рашааны гидрогеохимийн судалгаа

Чимэддорж Болормаа^{1,2}, Долгоржав Оюунцэцэг³, Оюунцэцэг Болормаа^{1*}

¹Химийн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 14201, Монгол улс

²Химийн тэнхим, Ховд аймаг дахь салбар сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Ховд аймаг 84170, Монгол улс

³Экологийн химийн лаборатори, Хими, Химийн Технологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар 13330, Монгол улс

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

ORCID: [0000-0002-2861-7841](https://orcid.org/0000-0002-2861-7841)

Хүлээн авсан: 15.10.2022

Хяналтанд: 01.11.2022

Хэвлэлтэнд авсан: 20.12.2022

Хураангуй: Монгол орны Баруун бүсэд гидрогеологийн бүсчлэлээр авч үзвэл Монгол-Алтайн мужийн Ганц мод, Чихэртэй, Аксу, Индэртийн халуун рашаан, Хангайн мужийн Отгонтэнгэр, Хожуул, Зарт, Цэцүүх, Улаан хаалга зэрэг 9 халуун рашаан тархсан байдаг. Эдгээр халуун рашааныг судалгааны объект болгон сонгон авч рашааны химийн найрлага, рашаанд ууссан эрдэс чулуулгийн химийн найрлагыг тодорхойлж, ус-чулуулгийн харилцан үйлчлэлийг тогтоож, рашаануудын газрын гүний халуун усны температурыг тодорхойлж, газрын доорх усан сангийн эргэлтийн гүнийг тогтоохыг зорьсон юм. Монгол-Алтайн мужийн халуун рашаанууд нь температурын хувьд 23.3-33°C буюу бүлээн, pH 8.3-9.19 шүлтлэг орчинтой, химийн найрлагын хувьд Аксу, Ганц модны рашаан $\text{HCO}_3\text{-Na}$, Чихэртэй рашаан $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$, Индэртийн халуун рашаан $\text{SO}_4\text{-Na}$ төрөлд хамаарагдаж байна. Хангайн мужийн рашаанууд нь 33-45.5°C температуртай, pH 8.36-9.56 шүлтлэг орчинтой, Зарт, Цэцүүх, Улаан хаалганы рашаанууд $\text{SO}_4\text{-Na}$ төрөл, Хожуул, Отгонтэнгэрийн рашаанууд $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ төрөлд тус тус хамаарагдаж байгааг тодорхойлов. Монгол-Алтайн мужийн халуун рашаануудын химийн найрлага өндөршлөөс хамаараад баруун хойноосоо зүүн урагшаа чиглэлд эрдэсжилт нь нэмэгдэж $\text{HCO}_3\text{-Na}$ найрлагаас $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ болж, нам доор газраа $\text{SO}_4\text{-Na}$ төрөл болж өөрчлөгдөж байгааг тогтоолоо. Баруун бүсийн халуун рашааны газрын гүний усан сангийн температурыг химийн геотермометрийн аргаар тооцоход 98-134°C байгааг тогтоолоо. Эдгээр халуун рашаануудын газрын доорх усан сангийн гүнийг тооцоолоход, Монгол-Алтайн мужийнх газрын гадаргаас доош 2600-3300 метрт, Хангайн мужийнх 1500-1600 метрийн гүнд оршиж байгааг тогтоосон. Баруун бүсийн газрын гүний халуун усыг ашиглан шууд хэрэглээнд буюу дулааны эрчим хүч, хүлэмжийн аж ахуй, загас үржүүлэх, цас хайлуулах, усанд орох, бассейн, усан спорт, рашаан сувилал, байгалийн аялал жуулчлал зэргээр хөгжүүлэх боломжтой. Мөн газрын гүний халуун усны температур нь 98-134°C байгаа тул бинарын системийг ашиглан цахилгаан эрчим хүч гарган авах боломжтойг тогтоолоо.

Түлхүүр үг: геотермал ус, геотермометр, эрчим хүч

ОРШИЛ

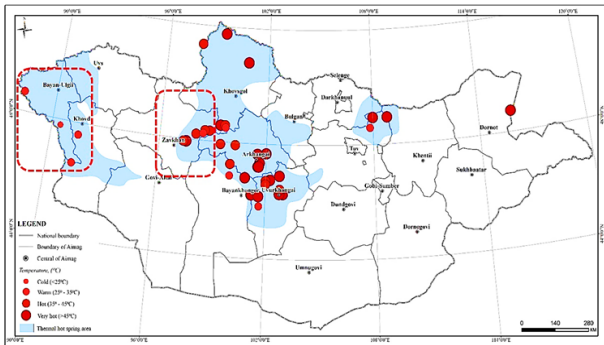
Олон улсад газрын гүний халуун усыг шууд болон шууд бус аргаар өргөн хэрэглэж байна. Шууд аргын хэрэглээнд орон сууц халаах, үйлдвэрлэл, хүрээлэн буй орчны тохижилт, аж ахуйд (загас үржүүлэх, цас хайлуулах, хүнсний ногоо, хүлэмжийн зориулалтаар) ашигладаг байна. Газрын гүний халуун усны дулааны нөөцийг шууд хэрэглэдэг томоохон улсууд бол Хятад, Филиппин, Турк, Исланд, Япон, АНУ гэх мэт улс орнууд байдаг, эдгээр улсууд нь гүний халуун усны дулааны 70%-ийг шууд ашиглаж байна [1]. Харин манай улсын хувьд газрын гүний халуун усны дулааныг зөвхөн эмчилгээний зориулалтаар болон Хангайн бүсийн зарим рашааныг сувиллын байр, бассейн, хүлэмжийн халаалтад ашиглаж байна. Тиймээс, манай улс дэлхий нийтийн чиг хандлага болох байгальд ээлтэй сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглах чиглэлд анхаарлаа хандуулах шаардлага тавигдаж байна [2]. Үүний тулд, газрын гүний халуун усыг сэргээгдэх эрчим хүчний зориулалтаар ашиглахад судалгаа шинжилгээний ажлыг явуулах шаардлага тулгарч байна. Халуун рашааны химийн

найрлага нь газрын гүнд явагдаж буй физик, химийн процессуудын мэдээллийг зөөвөрлөн газрын гадаргууд гаргаж өгдөг хөдөлгөөнт төлөөлөгчийн үүргийг гүйцэтгэдэг. Иймд халуун рашааны гидрохимийн судалгааг нарийвчлан тодорхойлсны үндсэн дээр газрын гүнд явагдаж буй ус-чулуулгийн харилцан үйлчлэл, холилдолт, уур хийн ялгарал зэрэг физик химийн процессууд болон тэдгээрийн гарал үүслийг тодорхойлоод зогсохгүй газрын гүний халуун усны температурыг урьдчилан тодорхойлж болдог [3, 4]. Мөн халуун усны газрын гүний температур болон геотермийн градиентын утгад үндэслэн, халуун усны гүнийг урьдчилан тодорхойлох боломжтой. Бид судалгааны ажлаараа төдийлөн сайн судлагдаагүй манай орны Баруун бүсэд тархсан Монгол Алтай, Хангайн мужид орших халуун рашаануудын гидрогеохимийн судалгааг явуулж шинжлэх ухааны үндэслэлтэй тайлбарласнаар цаашид газрын гүний халуун усыг аж үйлдвэрийн салбарт нэвтрүүлэх, эдийн засгийн эргэлтэд оруулах нь бүс нутаг төдийгүй, Монгол улсын сэргээгдэх эрчим хүчний салбарыг хөгжүүлэхэд түлхэц болно.

DOI: <https://doi.org/10.5564/bicct.v10i10.1812>

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Манай оронд нийт 250 гаруй халуун, хүйтэн рашаан бүртгэгдсэний 42 нь халуун рашаан юм. Тэдгээрээс Баруун бүсэд Монгол-Алтайн мужийн 4 халуун рашаан, Хангайн мужийн 5, нийт 9 халуун рашаан тархсан байна [5, 6]. Баруун бүсийн халуун рашааны нөөц, ундаргыг О.Намнандорж, Ө.Нямдорж, Ш.Цэрэн нарын судлаачид Ганц мод 2160 л/цаг, Индэрт 1800 л/цаг, Зарт 4500 л/цаг, Отгонтэнгэр 300000 л/цаг, Цэцүүх 300 л/цаг, Чихэртэй 3600 л/цаг, Аксу 60 л/цаг нөөцтэйг тогтоосон байна [7]. Энэхүү судалгааны ажлаараа Монгол-Алтайн мужийн Ганц мод, Чихэртэй, Аксу, Индэртийн рашаан, Хангайн мужийн Отгонтэнгэр, Хожуул, Зарт, Цэцүүх, Улаан хаалга зэрэг 9 рашааныг судалгааны объект болгон сонгон авсан. Монгол орны халуун рашааны байршлын зураг дээр Баруун бүс дэх халуун рашааны дээж авсан цэгүүдийг Зураг 1-д тэмдэглэн харуулав.



Зураг 1. Халуун рашааны дээж авсан цэг

Судалгааны ажлын хүрээнд халуун рашааны ус болон чулуулгийн дээжийг 2015, 2016 оны 7 сард, агаарын дундаж температур 15.1-20.8°C үед авч шинжлэв. Усны дээжийг Баруун бүсийн 9 халуун рашааны 42 цэгээс, эрдэс чулуулгийн дээжийг Монгол-Алтайн мужийн Ганц мод, Чихэртэй рашаанаас, Хангайн мужийн Отгонтэнгэр, Хожуул, Цэцүүхийн рашааны 5 цэгээс дээж авч шинжилгээг хийсэн. Рашааны шинж чанар, химийн найрлага, агууламж өөрчлөгдөхөөс сэргийлж сорьцын бэхжүүлэлт, хадгалалт тээвэрлэлтийн горимыг нарийн баримтлан ажиллав [8, 9]. Халуун рашааны хээрийн шинжилгээг мультипараметрийн багажаар уусмалын орчин (рН), уусмалын цахилгаан дамжуулах чанар (ЦДЧ), эрдэжилт, исэлдэн ангижрах потенциал (ИАП), ууссан хүчилтөрөгч (УХ), Т°C зэрэг үзүүлэлтийг хэмжсэн. Мөн усан дахь ууссан устөрөгчийн агуулгыг ундарга дээр нь хэмжилтийг хийж гүйцэтгэсэн [8]. Чулуулгийн дээжийг авахдаа халуун рашааны ундарга хэсгээс 40 см гүнээс 1-8 см-ийн диаметртэй 300-800 гр жинтэй дээжийг авч, уутанд хийж битүүмжилсэн. Чулуулгийн физик-химийн үзүүлэлт болох шатаахад гарах хорогдлыг (ШГХ) тодорхойлохдоо

эрдсийг 950°C-аас дээш температурт тогтмол жинтэй болтол шатааж тооцоолсон. Баруун бүсийн халуун рашааны шинжилгээг хээрийн болон лабораторийн нөхцөлд эзлэхүүний шинжилгээний болон багажит шинжилгээний аргуудаар хийж гүйцэтгэсэн [10-15].

Хүснэгт 1. Судалгааны арга зүй

№	Үзүүлэлтүүд	Арга, багажны нэр
Усны шинжилгээ	рН, ЦДЧ, ИАП, УХ, Т°C	Зөөврийн мультипараметр, Hanna, HI 9828
	кальци, магни, хлор, карбонат, гидрокарбонат	Эзлэхүүний арга
	Сульфат	Спектрофотометр, UV-M51
Чулуулгийн шинжилгээ	Al, B, K, Na, F, SiO ₂	Индукцийн холбоост плазмын спектрометр (ICP-OES) Icap 6000, Thermofisher Scientific
	Физик-химийн үзүүлэлт (рН, ЦДЧ)	Кондуктометрийн арга
	Физик-химийн үзүүлэлт (ШГХ, чийг)	Жингийн арга
	Микро элементүүд (Ba, Bi, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, Hf, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Se, Sm, Sn, Ta, Th, U, V, W, Y, Zn)	Рентгенфлуоресценцийн арга (XRF), Спектрофотометр Axios, Panalytical LTD
	Макро элементүүд (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O, CaO, MgO, TiO ₂ , P ₂ O ₅)	Рентген диффрактометр (XRD), PANalytical X'Pert PRO
	Эрдсийн шинжилгээ	Т°C = [1522/(5.75 - log (SiO ₂))] - 273.15
	Кварц Fournier (1977)	Т°C = [1309/(5.19 - log (SiO ₂))] - 273.15
	Халцедон Arnorsson (1983)	Т°C = [1112/(4.91 - log (SiO ₂))] - 273.15
	Халцедон Fournier (1977)	Т°C = [1032/(4.69 - log (SiO ₂))] - 273.15
	Na-K Fournier (1979)	Т°C = [1217/(1.483 + log (Na/K))] - 273.15
Na-K Gigenbach (1988)	Т°C = [1390/(1.75 + log (Na/K))] - 273.15	
Na-K-Ca Fournier and Truesdell (1973)	Т°C = [1647/(log (Na/K) + β (log (Ca/Na) + 2.24))] - 273.15	
Гүн	Газрын доорх усны гүн, м	h = (T - Ts) / G
Эрдсийн уусалт	Ханалтын индекс (SI)	PHREEQC (version 3.1.1)

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Баруун бүсийн халуун рашааны гидрохимийн судалгаа: Баруун бүсийн халуун рашаануудын усны химийн найрлагыг судлахдаа Монгол-Алтайн мужийн Чихэртэй, Ганц мод, Аксу, Индэрт болон Хангайн мужийн Отгонтэнгэр, Зарт, Цэцүүх, Улаан хаалга, Хожуул гэсэн 9 рашааны 42 цэгээс дээж авч, физик-химийн үзүүлэлт, макро, микро элементийн агуулгыг тодорхойлсон.

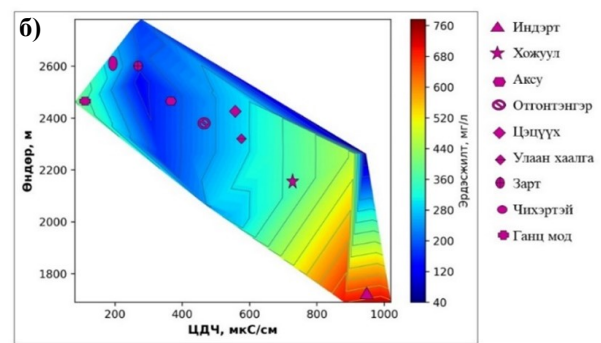
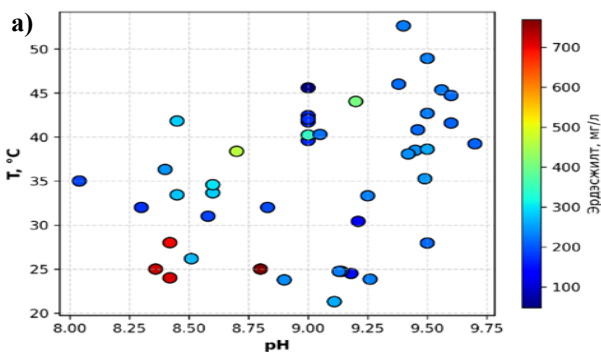
Рашааны физик-химийн үзүүлэлтүүд: Баруун бүсийн халуун рашааны усны физик химийн үзүүлэлтүүд болох рН, Т°C, ЦДЧ, УХ, ИАП, эрдэжилтийг мультипараметрийн багажаар тодорхойлж үр дүнг үснэгт 2-т үзүүлэв. Хүснэгт 2-с харахад, Баруун бүсийн рашаанууд нь температурын хувьд, Монгол-Алтай мужийн Ганц мод, Чихэртэй, Аксу, Индэртийн рашааны температур Т<33°C буюу бүлээн, Хангайн мужийн Улаан хаалга, Зарт, Цэцүүх, Хожуул, Отгонтэнгэрийн рашааны температур 33-45.5°C

Хүснэгт 2. Рашааны физик-химийн үзүүлэлтүүд

№	Рашааны нэр	pH	T°C	УХ, мг/л	ЦДЧ, мсм/см	Эрдэсжилт, мг/л	ИАП, мВ
1	Ганц мод	9.19±0.03	24.5±0.2	0.430±0.024	202±10	136±5	49.5±0.3
2	Чихэртэй	9.17±0.16	23.3±0.3	0.270±0.008	346±6	232±4	48.6±0.7
3	Аксу	8.75±0.12	23.3±0.4	0.261±0.007	272±14	183±9	36.8±1.7
4	Индэрт	8.36±0.39	26.5±1.5	1.232±0.032	1060±12	712±27	289.0±8.1
5	Отгонтэнгэр	9.56±0.09	45.3±0.5	0.431±0.008	447±5	227±2	18.9±0.2
6	Улаан хаалга	9.00±0.20	45.5±0.6	0.622±0.016	420±9	473±13	1.9±0.1
7	Хожуул	9.00±0.23	42.0±0.9	0.681±0.017	340±11	170±4	49.1±1.3
8	Зарт	8.41±0.29	36.3±1.2	0.492±0.022	468±15	234±2	2.0±0.2
9	Цэцүүх	8.61±0.44	33.4±1.0	0.340±0.006	556±10	227±10	-0.8±0.0

буюу халуун рашааны ангилалд багтаж байна [3, 4]. Баруун бүсийн халуун рашааны ИАП-ын утга -0.8-298 мВ, ЦДЧ нь 202-1060 мсм/см, рашааны температур 23.3-45.5°C, pH 8.36-9.56 шүтлэг орчинтой байна. Хүснэгт 2-г үзүүлснээр Индэртийн рашааны эрдэсжилт 712 мг/л агуулгатай байхад бусад рашааны хувьд, эрдэсжилт нь 500 мг/л-ээс

ихгүй буюу бага эрдэсжилттэй байна [4]. Индэртийн рашааны эрдэсжилт их байгаа нь чулуулгийн шинж чанар болон газар нутгийн онцлог, цаг уурын хүчин зүйлтэй холбоотой гэж үзэж байна [3, 5]. Баруун бүсийн халуун рашааны 42 цэгийн дээжний үр дүнг ашиглан эрдэсжилт нь температур болон pH-ийн муж дахь тархалтыг зураг 2-д харуулав.



Зураг 2. а) Рашааны ЦДЧ - Эрдэсжилт ба pH-ийн хоорондын хамаарал, б) Рашааны ЦДЧ-Эрдэсжилт ба өндөршилйн хоорондын хамаарал

Зураг 2-т харуулснаар, халуун рашааны эрдэсжилт нь pH ба температурын тодорхой хязгаарт шууд хамаарал ажиглагдахгүй байна. Энэ нь рашаанд ууссан чулуулгийн уусах чанар нь температур болон хүчиллэг-шүтлэг орчин нөхцөлд харилцан адилгүй байдагтай холбоотой юм [16]. Рашааны эрдэсжилтийн хэмжээ нэмэгдэхэд, ЦДЧ нь ихсэж байна. Мөн газар нутгийн өндөршил ихсэхийн хэрээр эрдэсжилтийн хэмжээ буурах зүй тогтолтой байна. Өөрөөр хэлбэл, 2760 метр өндөрт орших Аксу рашааны эрдэсжилт нь 183 мг/л байхад, 1670 метрт орших Индэртийн рашааных 712 мг/л буюу урвуу хамаарал ажиглагдаж байна. Эндээс рашааны эрдэсжилт нь уулс хоорондын хотгор газраа ихсэх зүй тогтолтой байна [16, 17].

Рашааны химийн найрлага: Баруун бүсийн халуун рашааны гидрохимийн судалгааг хийхдээ рашаан тус бүрийн 3-9 орчим ундарга цэгүүдээс дээж авч шинжилгээг хийсэн. Халуун рашааны химийн найрлагыг тус бүрийн дээж авсан цэгүүдийн дундажаар тооцоолж хүснэгт 3-д үзүүлээ.

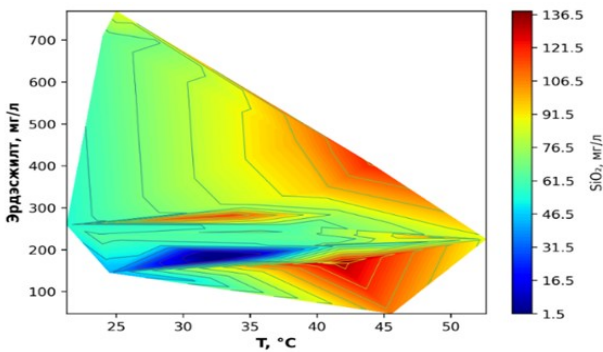
Шинжилгээний үр дүнгээс харахад, рашааны бүх дээжинд катионуудаас Na^+ 34.5-186 мг/л хүртэл агуулж байхад, Ca^{2+} 1.6-5.4 мг/л, K^+ 1.20-15.2 мг/л,

Mg^{2+} 0.1-1.22 мг/л хүртэл тус тус агуулагдаж байна. Харин анионуудаас HCO_3^- зонхилж буй рашаануудад Хожуул 103 мг/л, Отгонтэнгэр 96.4 мг/л, Чихэртэй 74.6 мг/л, Ганц мод 47.3 мг/л, Аксу 48.1 мг/л байна. Мөн Индэрт, Улаан хаалга, Зарт, Цэцүүхийн рашаанд SO_4^{2-} 86.4-319 мг/л хүртэл агуулагдаж байна. Үүнээс харахад, судалгаанд хамрагдсан бүх халуун рашаануудад катионуудаас натрийн ион зонхилж байхад анионуудын хувьд гидрокарбонат, гидрокарбонат-сульфат, сульфат-гидрокарбонат ионууд зонхилсон холимог найрлагатай байна. Халуун рашааны химийн найрлагад натри ион зонхилж байгаа нь $CaCO_3$, $MgCO_3$ эрдэс нь температур нэмэгдэх тусам уусах чадвар буурч, тунадасжиж эхэлдэгтэй холбоотой [16, 17]. Үүний үр дүнд халуун рашааны катионы бүтцэд Na^+ ион зонхилж байна. Мөн хүснэгт 3-т халуун рашааны гол ионуудыг (мг-экв/л) ашиглан ионы балансыг тооцоолоход 0.014-0.786% хооронд хэлбэлзэж, ионы баланс нь 5%-иас бага байна. Ионы баланс нь 5%-иас бага байгаа усны шинжилгээний үр дүн үнэмшилт түвшинд байгааг илтгэж байна. Халуун рашааны химийн найрлагыг хүйтэн рашаантай харьцуулахад, түүнд цахиур, фтор, бор

Хүснэгт 3. Рашааны гол ионуудын агуулга

Үзүүлэлт	Ганц Мод	Чихэртэй	Аксу	Индэрт	Отгонтэнгэр	Улаан хаалга	Хожуул	Зарт	Цэцүүх
T°C	24.5±0.1	23.3±0.3	32.6±0.9	26.5±1.5	45.3±0.5	45.5±0.6	42.0±0.9	36.3±1.2	33.4±1.0
pH	9.19±0.03	9.17±0.16	8.75±0.12	8.36±0.39	9.56±0.09	9.00±0.20	9.00±0.23	8.40±0.29	8.60±0.44
Na ⁺ , мг/л	45.4±1.3	71.8±1.3	34.5±0.7	186±9.6	81.4±1.3	122.0±3.9	70.8±1.4	78.4±3.2	86.3±2.2
K ⁺ , мг/л	1.23±0.07	1.83±0.05	1.20±0.03	15.2±0.51	2.00±0.03	4.70±0.07	3.20±0.02	1.80±0.05	3.30±0.09
Ca ²⁺ , мг/л	2.21±0.12	2.50±0.11	2.80±0.06	22.2±0.17	1.80±0.02	3.60±0.04	1.60±0.05	5.40±0.10	2.60±0.09
Mg ²⁺ , мг/л	0.22±0.0	0.240±0.0	0.101±0.0	1.22±0.03	0.102±0.0	0.201±0.0	0.20±0.01	0.701±0.0	0.200±0.0
HCO ₃ ⁻ , мг/л	47.3±0.8	74.6±1.0	48.1±1.5	91.5±5.6	96.4±2.1	47.0±0.9	103±2.2	50.6±6.4	73.7±1.7
CO ₃ ²⁻ , мг/л	22.4±0.8	15.2±0.3	15.7±0.3	6.10±0.2	19.5±0.2	10.6±0.1	23.1±0.2	10.0±0.2	16.3±0.8
Cl ⁻ , мг/л	13.7±0.8	7.31±0.1	2.30±0.1	47.7±3.0	8.2±0.1	10.5±0.3	7.1±0.2	4.1±0.2	4.3±0.1
SO ₄ ²⁻ , мг/л	10.7±0.0	66.1±0.7	14.5±0.5	319±7.9	61.9±0.5	202±2.8	29.3±0.5	86.4±1.2	102±3.5
SiO ₂ , мг/л	48.2±1.0	61.1±0.7	45.3±1.7	69.2±2.4	67.0±0.7	76.0±1.3	101±2.7	59.0±2.5	85.0±2.2
F ⁻ , мг/л	7.31±0.27	1.27±0.02	2.82±0.08	2.54±0.02	5.00±0.05	13.4±0.21	6.00±0.15	4.50±0.02	11.6±0.31
B ⁻ , мг/л	0.67±0.03	1.45±0.03	0.01±0.0	0.01±0.0	0.29±0.00	0.21±0.00	0.110±0.0	0.091±0.0	0.071±0.0
ИБ %	0.540	0.2910	0.014	0.022	0.650	0.673	0.144	0.786	0.222

зэрэг элементүүдийг агуулдагараа онцлог юм. Хүснэгт 3-с харахад, Хангайн мужийн Цэцүүх, Отгонтэнгэр, Улаанхаалга, Зарт, Хожуулын рашаанд SiO₂ 59-101 мг/л, F⁻ 4.5-13.4 мг/л хүртэл агуулагдаж байна. Монгол-Алтайн мужийн Ганц мод, Чихэртэй, Аксу, Индэртгийн рашааны SiO₂ 45.3-69.2 мг/л, F⁻ 1.27-7.31 мг/л хүртэл хэмжээтэй агуулагдаж байна. Рашааны бүх дээжинд борын агуулга 0.01-1.45 мг/л буюу харьцангуй жигд тархалттай байна. Халуун рашаанд ууссан цахиурын нэгдэл нь температур, эрдэсжилтийн хамаарлыг зураг 3-д харуулав.



Зураг 3. Рашааны T°C-Эрдэсжилт ба SiO₂-ийн уусалтын хамаарал

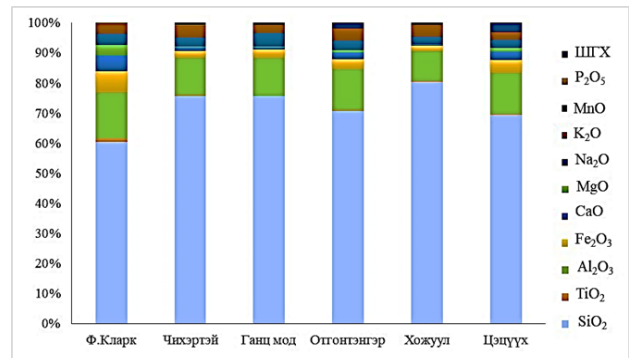
Зураг 3-с харахад, рашааны температур нэмэгдэхэд ууссан цахиурын агуулга ихсэх зүй тогтолтой байна. Температур нэмэгдэхэд цахиурын уусалт ихсэж байгаа нь халуун рашаанд ортоцахурын хүчил болон аморф хэлбэрийн цахиур оршиж байна гэж үзэж байна. Учир нь эдгээр нь өндөр температурт уусах чадвар сайтай нэгдлүүд юм [19].

Эрдэс чулуулгийн химийн судалгаа: Баруун бүсийн халуун рашааны чулуулгийн шинж чанарыг судлах зорилгоор Монгол-Алтайн мужийн Чихэртэй, Ганц модны рашаан, Хангайн мужийн Отгонтэнгэр, Хожуул, Цэцүүхийн рашааны 5 цэгээс чулуулгийн дээж авч физик-химийн үзүүлэлт, макро, микро элементүүд болон эрдсийн шинжилгээ хийн үр дүнг зураг 4, 5-д үзүүлэв.

Рашааны чулуулгийн дээжинд физик-химийн

үзүүлэлтийг тодорхойлоход, рН-ын утга 8.12<рН<9.00, ЦДЧ 9.07-25.30 мсм/м байгаа нь халуун рашааны усны рН ба ЦДЧ-тай ойролцоо байна. Мөн чулуулгийн ШГХ 0.06-0.32%, чийгийн агуулга 0.09-0.31% -тай агуулагдаж байна.

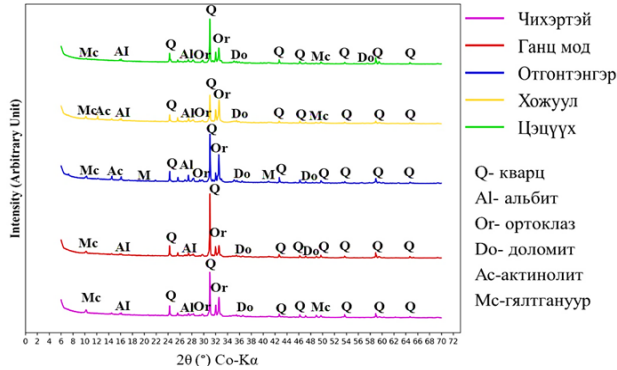
Чулуулгийн элементийн шинжилгээ: Чулуулгийн дээжинд макро элементүүдийн агуулгыг рентген флуоресценцийн аргаар тодорхойлсон үр дүнг зураг 4-д харуулав. Зураг 4-с харахад, чулуулгийн бүх дээжинд цахиурын оксид, хөнгөнцагааны оксид, төмрийн оксид, калийн оксид, натрийн оксид зонхилон тархсан байна. Үүнийг агуулгын буурах



Зураг 4. Чулуулгийн макро элементийн агуулга

дарааллаар байрлуулбал: SiO₂> Al₂O₃> Fe₂O₃> K₂O> Na₂O> CaO> MgO> TiO₂> P₂O₅> MnO болно. Чулуулгийн элементийн шинжилгээний дүнг кларк дахь агуулгатай харьцуулан үзэхэд, бүх дээжин дэх цахиурын ислийн агуулга нь кларк дахь хэмжээнээс их, бусад элементүүдийн хувьд бага байна. Чулуулгагт агуулагдаж буй макро элементийн агуулга нь эрдсийн найрлагаас шууд хамааралтай бөгөөд SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Na₂O, Fe₂O₃, CaO зэрэг элементүүд зонхилж байгаа нь чулуулгагт кварц (SiO₂), альбит (NaAlSi₃O₈), хээрийн жонш (KAlSi₃O₈), доломит ((CaMg(CO₃)₂) агуулсан анхдагч эрдсүүд агуулагдаж байна гэсэн таамаглалыг дэвшүүлсэн [20]. Үүнийг баглахын тулд эрдсийн найрлагыг XRD-ын аргаар тодорхойлсон.

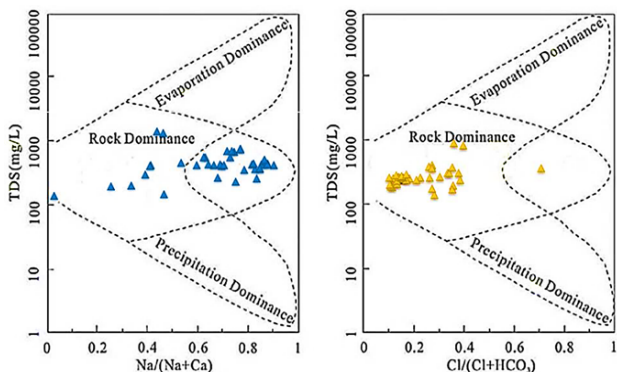
Чулуулгийн эрдсийн шинжилгээ: Рашааны чулуулгийн эрдсийн шинжилгээг хийхэд голлох буюу анхдагч эрдсүүд нь кварц (SiO_2), альбит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), ортоклаз (KAlSi_3O_8), гялтгануур ($\text{KAlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), дагалдах буюу хоёрдогч эрдсүүд нь кальцит (CaCO_3), доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), актинолит ($\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$) болохыг рентгендифрактометрийн судалгаагаар тогтоож (Зураг 5), үр дүнг “X’Pert Highscore & Highscore Plus” программ ашиглан олон улсын “JCD” стандарт өгөгдлийн сангийн каталогийн үр дүнтэй харьцуулах замаар боловсруулав.



Зураг 5. Чулуулгийн дээжний рентгенграммын бичлэг

Дээрх зургаас харахад, кварцын эрчмүүд нь $2\theta = 24.3, 31.07, 42.7, 46.18, 47.16, 49.75, 53.78, 58.97, 59.5, 64.72, 65.29^\circ$ шугамууд дээр, альбитын эрчмүүд нь $2\theta = 26.65, 28.31, 32.64, 32.98, 35.57, 41.04^\circ$ шугамууд дээр, ортоклазын эрчмүүд $2\theta = 27.48, 29.81, 32.04^\circ$ шугамууд дээр, гялтгануурын эрчмүүд нь $2\theta = 10.23, 20.06, 41.04, 49.75^\circ$ шугамууд дээр, доломитын эрдсүүд нь $2\theta = 35.95, 48.10, 57.81^\circ$ шугамууд дээр, актинолитын эрдсүүд нь $2\theta = 12.19, 41.36^\circ$ шугамууд дээр тус тус илэрсэн [21].

Ус-чулуулгийн харилцан үйлчлэл: Халуун рашааны химийн найрлагыг бүрдүүлж буй эрдсийн гидролизын процессыг тайлбарлахын өмнө газрын доорх ус нь ус-чулуулгийн харилцан үйлчлэл байгааг тогтоох нь чухал байдаг. Газрын доорх ус нь ууршилт, хур борооны усны тэжээгдэлтэй, хөрсний усны холилдолт болон чулуулгийн уусалт зэргээс хамаарч найрлага, шинж чанар харилцан

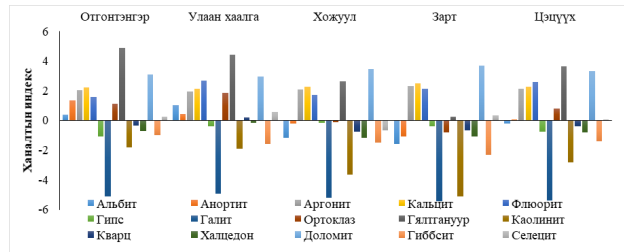


Зураг 6. Гиббсийн диаграмм (Gibbs 1970)

адилгүй байдаг. Баруун бүсийн халуун рашааны химийн найрлага, физик-химийн үзүүлэлтийг ашиглан Гиббсийн диаграммыг байгуулсныг Зураг 6-д харуулав [22, 23].

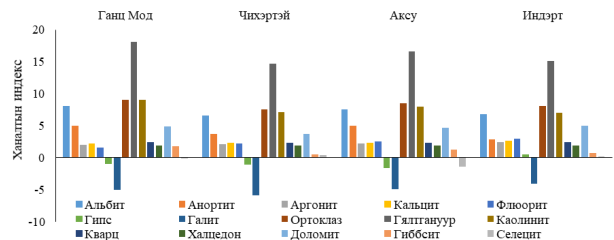
Зураг 6-д харуулснаар усны Гиббсийн $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ ионы харьцаа 0.1-0.9, $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$ ионы харьцаа 0.1-0.7 хооронд хэлбэлзэж, бүх дээж нь чулуулаг давамгайлсан эх үүсвэртэй болох нь тогтоогдож байна. Өөрөөр хэлбэл Баруун бүсийн халуун рашааны химийн найрлага бүрэлдэхэд чулуулгийн гидролизын процесстэй холбоотой байна [23].

Ханалтын индексийн тооцоо: Эрдсийн энцвэрт байдлын түвшинг үнэлэхдээ эрдсийн уусах болон хадгалагдах чадварт нь үндэслэн ханалтын индексийг (SI) тооцдог. Ханалтын индексүүд (SI) нь халуун рашаанд уссан эрдсийг тайлбарлахад чухал үүрэгтэй. Ханалтын индексийг тооцоолоход усны гол ионууд, микро элементүүд, физик-химийн (pH, $T^\circ\text{C}$, ЦДЧ, УХ, ИАП) үзүүлэлтийг оролтын өгөгдөл болгон USGS компьютерын PHREEQC программыг ашиглан тооцоолон муж тус бүрээр нь зураг 7, 8-д харуулав.



Зураг 7. Хангайн мужийн халуун рашаан дахь эрдсийн ханалтын индекс

Зураг 7-с харахад, Отгонтэнгэр, Улаан хаалга, Хожуул, Зарт, Цэцүүхийн рашаанууд нь гялтгануур, кальцит, доломит, ортоклаз, флюоритийн эрдсээр бүрэн ханасан байна. Ханалтын индексийн зургаас харахад, сөрөг утгатай гипс, галит, кварц, халцедон, гиббсит эрдсүүд ханаагүй байна.



Зураг 8. Монгол-Алтайн мужийн халуун рашаан дахь эрдсийн ханалтын индекс

Дээрх зургаас Монгол-Алтайн мужийн рашаануудад анортит, альбит, аргонит, кварц, халцедон, кальцит, доломит, гиббсит, флюоритын эрдсээр бүрэн ханасан, гипс, галит, селцитын эрдсээр ханаагүй байна. Өөрөөр хэлбэл Монгол-Алтайн мужийн рашаанууд каолинит, кварц, халцедон зэрэг эрдэс хэт ханасан бол Хангайн мужийн рашаанууд эдгээр

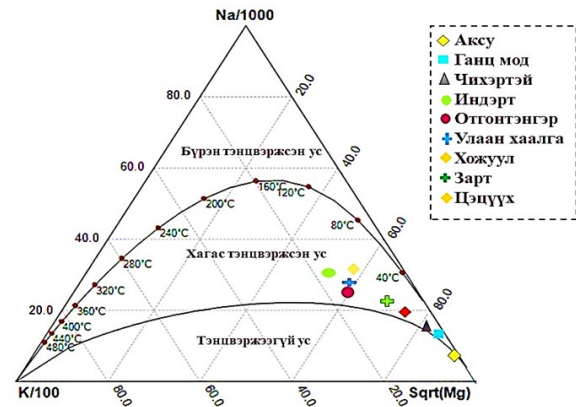
эрдсээр ханаагүй байна. Мөн бүх рашаанд галитын ханалтын зэрэг сөрөг (-4.05-5.89) утгатай байгаа нь галит суурь чулуулаг (ус агуулагч)-т бага байгаатай холбоотой юм [24]. Баруун бүсийн бүх халуун рашаанд альбит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), анортит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), кальцит (CaCO_3), флюорит (CaF_2), гялтгануур ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) зэрэг эрдсээр ханасан байгаа нь карбонат болон цахиурт эрдсийн тунадас үүссэнийг харуулж байна. Мөн бүх халуун рашаанд гипс (CaSO_4), селестит (SrSO_4) – ийн эрдсүүд дутуу ханасан байгаа нь цаашид рашааны найрлагад сульфатын төрлийн эрдэс тасралтгүй уусах хандлагатай байна [25]. Халуун рашаанд Флюорит (CaF_2) ханалтын индексийн утга 1.58-2.98 буюу ханасан байна. Халуун рашаан дахь фторын уусалтад суурь чулуулагт байгаа фтор агуулсан эрдэс бодисууд нөлөөлөхөөс гадна рашаанд фтортой хамт тогтмол комплекс нэгдэл үүсгэх чадвар бүхий хөнгөнцагаан, бор, төмөр, цахиур зэрэг элементүүд агуулж байгаа нь флюоритын уусах чанарт нөлөөлж, фторын уусалт нэмэгдсэн гэж үзэж байна [26].

Газрын гүний халуун усны геотермометрийн судалгаа: Газрын гүний температурыг илэрхийлэгч химийн геотермометр нь эрэл хайгуулын судалгааны ажилд чухал байр суурийг эзэлдэг. Газрын гүний халуун усны температурыг изотоп болон химийн геотермометрийн аргаар тодорхойлдог [27]. Химийн геотермометрийн арга нь дотроо цахиурын болон катионы гэсэн төрөлтэй байх ба энэхүү судалгааны ажлаараа цахиур болон катионы геотермометрийн аргачлалыг ашиглан тооцоог хийсэн [28]. Баруун бүсийн газрын гүний халуун усны температурыг цахиурын геотермометр (кварц, халцедон), катионы геотермометрийн (Na-K, Na-K-Ca,) аргачлалаар Aquachem 2014.2 программыг ашиглан боловсруулсан. Баруун бүсийн халуун усны химийн геотермометрийн дүнг Хүснэгт 4-д үзүүлэв.

Хүснэгт 4-с харахад, кварцын геотермометрийн (Fournier 1977) аргаар тооцоход, усан сангийн температур 97.6-138°C-тай байна. Мөн халцедоны геотермометрийг (Arnorsson 1983, Fournier 1977) аргаар тооцоход, усан сангийн температур 67.4-111°

С буюу бусад аргуудтай харьцуулахад хамгийн бага температуртай байна. Хүснэгт 9-д үзүүлснээр Na-K усан сангийн температур 90-176°C, Na-K-Ca температур 92-131°C-ийн хооронд хэлбэлзэж байна. Эндээс Баруун бүсийн халуун рашаануудын газрын гүний халуун усны дундаж температур (97.6-134°C) байгаа нь Nicholson (1993) ангиллаар $T < 150^\circ\text{C}$ буюу бага температуртай газрын гүний халуун усны ангилалд хамаарагдаж байна [29].

Na⁺-Mg²⁺-K⁺ гурвалжингийн диаграмм: Энэхүү диаграмм нь систем дэх Na⁺-Mg²⁺-K⁺ шүлтийн металлын концентрациар усны температур ба усны тэнцвэрт байдлыг үнэлэх, түүнчлэн газрын гүний халуун усны температурыг тооцоолон гаргадаг [30]. Баруун бүсийн халуун рашааны ус-чулуулгийн тэнцвэрийг Gigenbach (1988) аргачлалаар, Aquachem 2010 программаар тооцон зураг 9-д харуулав.



Зураг 9. Na⁺-Mg²⁺-K⁺ диаграмм

Гурвалжингийн диаграммд харуулснаар судалгаанд хамрагдсан халуун рашаануудын газрын гүний халуун ус нь хагас тэнцвэржсэн бүсэд тархсан байна. Газрын доорх халуун ус нь ус-чулуулаг гэсэн систем термодинамик тэнцвэрт байдалд оршдоггүй болохыг илтгэж байна [30]. Мөн Gigenbach (1988) аргаар тооцоолоход газрын гүний халуун ус нь 80-180°C температуртай байна. Хүснэгт 4-т Монгол-Алтайн мужийн газрын гүний халуун усан сангийн дундаж температур 98-122°C ба хамгийн өндөр температуртай нь Индэрт 122°C, хамгийн бага

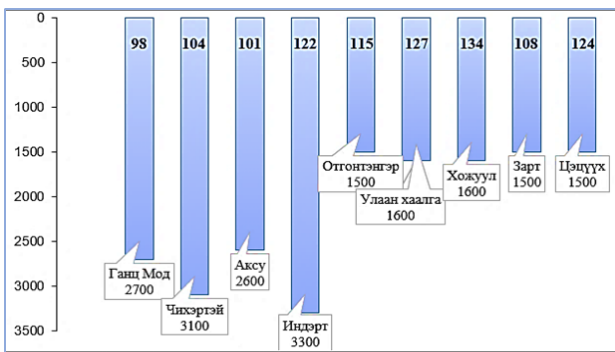
Хүснэгт 4. Усан сангийн температурыг химийн геотермометрийн аргаар тооцсон үр дүн

	Рашааны нэр	Дундаж	Tqtz ¹	Tqtz ²	Tchal ³	Tchal ⁴	TNa-K ⁵	TNa-K ⁶	TNa-K-Ca ⁷
Монгол Алтай	Ганц Мод	97.6	100	101	71.0	70.2	100	146	95.1
	Чихэртэй	104	111	111	83.1	82.1	96.0	143	104
	Аксу	100	97.0	99.2	69.0	67.0	117	160	94.2
	Индэрт	122	118	116	89.2	89.1	137	176	129
Хангай	Отгонтэнгэр	114	129	126	101	101	94.0	141	111
	Улаан хаалга	127	133	129	104	105	124	166	131
	Хожуул	134	138	133	110	111	136	176	134
	Зарт	107	124	121	95.0	96.2	90.0	137	92.0
	Цэцүүх	124	128	125	100	101	124	166	125

1) Fournier (1977); 2) Fournier (1977); 3) Arnorsson (1983b); 4) Fournier (1977); 5) Arnorsson (1983b); 6) Gigenbach et al (1988); 7) Fournier and Truesdell (1973)

температуртай нь Ганц мод 98°C-тай байна. Хангайн мужийн газрын гүний халуун усны дундаж температур нь 108-134°C бөгөөд Хожуулын усны температур 134°C буюу хамгийн өндөр байна. Иймд Баруун бүсийн газрын гүний халуун усыг шууд хэрэглээнд буюу хүлэмжийн аж ахуй (жимс, ногоо тариалах, мод үржүүлэх), загас үржүүлэх, цас хайлуулах, усанд орох, бассейн, усан спорт, байгалийн аялал жуулчлал зэргээс гадна орон байр халаах буюу халаалтын системд ашиглахад бүрэн боломжтой байна [5,31]. Баруун бүсийн халуун рашааны газрын гүний халуун усны температур 98-134°C байгаа нь бинарын системийг ашиглан цахилгаан эрчим хүчний чиглэлээр ашиглах боломжтой болохыг тогтоолоо.

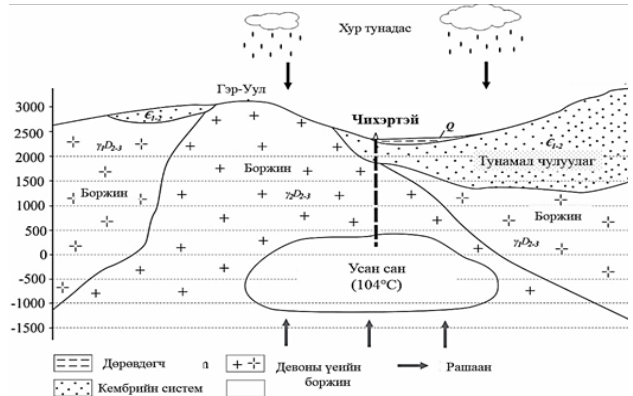
Баруун бүсийн газрын гүний халуун усан сангийн гүнийг тогтоох: Баруун бүс нутгийн хувьд халуун рашааны ордууд нь Монгол-Алтай, Хангайн мужид тархсан байдаг. Манай орны сэргээгдэх эрчим хүчний газраас гаргасан судалгаагаар Монгол-Алтайн мужийн геотермийн градиент 20-30°C, Хангайн мужийнх 45-80°C гэж тогтоосон байдаг [32]. Баруун бүсийн газрын гүний халуун усан сангийн гүнийг тогтоохдоо Хангай болон Монгол-Алтайн мужийн жилийн дундаж температур, геотермийн градиент, болон газрын гүний халуун усны температурын утгыг ашиглан тогтоосон [33].



Зураг 10. Баруун бүсийн газрын доорх халуун усан сангийн гүн

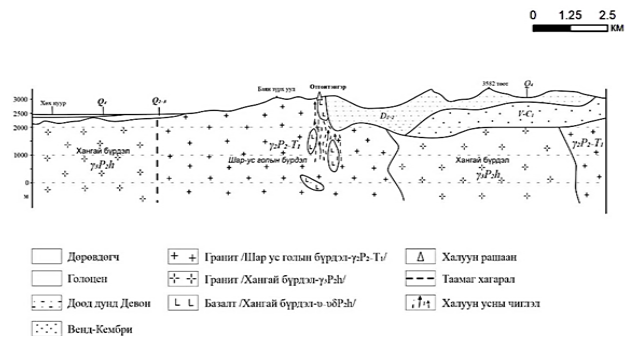
Зураг 10-с харахад, Монгол-Алтайн мужийн газрын гүний халуун усан сан газрын гадаргаас доошоо 2600-3300 метрт, Хангайн мужийн халуун усан сан 1500-1600 метрийн гүнд байрладаг болохыг тооцоолж тогтоолоо. Өөрөөр хэлбэл, Ганц мод, Чихэртэй, Аксу, Индэртийн рашааны газрын гүний халуун усны эх үүсвэр 2600-3300 м-ийн гүнд, 98-122°C-ийн температуртай болохыг тогтоолоо. Хангайн мужийн Отгонтэнгэр, Хожуул, Улаан хаалга, Зарт, Цэцүүхийн газрын гүний усан сан 1500-1600 м-ийн гүнд, 108-134°C температуртай болохыг тогтоолоо. Газрын гүний усан сангийн загварчлалыг боловсруулахдаа рашааны геологийн мэдээлэл, газар нутгийн тогтоц, гадаргын хэв шинж болон газрын гүний халуун усны усан сангийн гүн, температурыг ашиглан CorelDraw программ дээр

боловсруулав (зураг 11). Уг загварчлалыг Монгол-Алтай мужийн Чихэртэй, Хангай мужийг төлөөлөн Отгонтэнгэрийн рашааны геологийн мэдээллийг ашиглан боловсруулсан.



Зураг 11. Монгол-Алтайн мужийн газрын гүний халуун усны загвар /Чихэртэй рашаан/

Зураг 11-с харахад, Монгол-Алтайн мужийн $\text{HCO}_3\text{-Na}$ болон $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ гэсэн найрлагатай халуун рашаан бүрэлдэн тогтоход ус агуулагч чулуулаг дахь альбит, хээрийн жонш, гипс, доломитын эрдсийн уусалт, хур борооны ус болон хөрсний усны тэжээгдэл гол нөлөө үзүүлж байна. Монгол-Алтайн мужийн уулархаг бүсийн газрын гүний усан сан ойролцоогоор 3000 м-ийн гүнд, 105°C температуртай бөгөөд хожуу кембрийн хурдаст дунд ширхэгтэй микролин, плагиоклазтай боржин, гялтгануур, турмалинтай боржин, биотиттой боржингийн чулуулаг давхаргад байрладаг байна [33]. Хангайн мужийн Отгонтэнгэрийн рашаан газрын гадарга дээр гарч ирэх явцдаа альбит, кварц,



Зураг 12. Хангайн мужийн газрын гүний халуун усны загвар /Отгонтэнгэрийн рашаан/

кальцит, флюоритын эрдсүүдийн гидролизын дүнд $\text{SO}_4\text{-Na}$ болон $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$ найрлагатай халуун рашаан бүрэлдэж байна. Хангайн мужийн халуун рашааны химийн найрлага, гадаргын болон гүний температурт үндэслэн уг рашаан нь хур борооны ус, хөрсний усны тэжээгдэл багатай буюу гүний ан цавын хагарлаар үүсэж байна [31]. Хангай мужийн эдгээр рашааны газрын доорх усан сан ойролцоогоор 1540 м-ийн гүнд, 121°C температуртай болохыг тогтоолоо.

ДҮГНЭЛТ

Монгол-Алтайн мужийн халуун рашаанууд нь температурын хувьд 23.3-33°C буюу бүлээн, pH 8.3-9.19 шүлтлэг орчинтой, химийн найрлагын хувьд Аксу, Ганц модны рашаан $\text{HCO}_3\text{-Na}$, Чихэртэй рашаан $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$, Индэртийн халуун рашаан $\text{SO}_4\text{-Na}$ төрөлд хамаарагдаж байна. Хангайн мужийн рашаанууд нь 33-45.5°C температуртай, pH 8.36-9.56 шүлтлэг орчинтой, Зарт, Цэцүүх, Улаан хаалганы рашаанууд $\text{SO}_4\text{-Na}$ төрөл, Хожуул, Отгонтэнгэрийн рашаанууд $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ төрөлд тус тус хамаарагдаж байгааг тодорхойлов. Монгол-Алтайн мужийн халуун рашаануудын химийн найрлага өндөршлөөс хамаараад баруун хойноосоо зүүн урагшаа чиглэлд эрдэжилт нь нэмэгдэж $\text{HCO}_3\text{-Na}$ найрлагаас $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ болж, нам доор газраа $\text{SO}_4\text{-Na}$ төрөл болж өөрчлөгдөж байгааг тогтоолоо.

Баруун бүсийн халуун рашааны голлох ионууд болох CO_3^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , SiO_2 агуулга өндөр харин Ca^{2+} , Mg^{2+} агуулга маш бага агуулагдаж байгаа нь уг усыг агуулж байгаа чулуулгийн массив нь натри ба цахиурын (альбит, ортоклаз) нэгдлээр баялаг тектоникийн суларсан бүсүүдэд, өндөр температуртай орчинд, ус-чулуулгийн харилцан үйлчлэл улам идэвхтэй явагдсанаар усны орчин шүлтлэг орчинтой болж кальцийн агуулга багасаж натри болон цахиурын агуулга ихсэж байгааг тогтоов.

Баруун бүсийн халуун рашааны газрын гүний усан сангийн температурыг химийн геотермометрийн аргаар тооцоход 98-134°C байгааг тогтоож, бага температуртай газрын гүний халуун усны ангилалд хамаарагдаж байгааг тогтоолоо. Баруун бүсийн халуун рашаануудын газрын доорх усан сангийн гүнийг тооцоолоход, Монгол-Алтайн мужийнх газрын гадаргаас доош 2600-3300 метрт, Хангайн мужийнх 1500-1600 метрийн гүнд оршиж байгааг тогтоолоо.

Баруун бүсийн газрын гүний халуун усыг ашиглан шууд хэрэглээнд буюу дулааны эрчим хүч, хүлэмжийн аж ахуй (жимс, ногоо тариалах, ургамал, мод үржүүлэх), загас үржүүлэх, цас хайлуулах, усанд орох, бассейн, усан спорт, рашаан сувилал, байгалийн аялал жуулчлал зэргээр хөгжүүлэх боломжтой. Мөн Баруун бүсийн газрын гүний халуун усны температур нь 98-134°C байгаа тул бинарын (хосолсон цикл) системийг ашиглан цахилгаан эрчим хүч гарган авах боломжтойг тогтоолоо.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. J.W.Lund, N.A.Toth (2021). Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*. 90:101915. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2011.07.004>
2. B.Tseesuren (2001). Geothermal resources in

- Mongolia and potential uses. *Oceania*. 342(2065):4.
3. А.М.Овчинников (1955). Общая гидрогеология. Москва.
4. В.В.Иванов, Г.А.Невраев (1964). Классификация подземных минеральных вод. Недра.
5. В.Chimeddorj, D.Munkhbat, В.Altanbaatar O.Dolgorjav, В.Oyuntsetseg (2021). Hydrogeochemical characteristics and geothermometry of hot springs in the Mongolian Altai region, Mongolia. *Geochemistry: Exploration, Environment Analysis*, 21(4):1–11. <https://doi.org/10.1144/geochem2021-016>
6. Б.И.Писарский, Д.Ганчимэг (2007). Газовый состав подземных минеральных вод Монголии.
7. О.Намнандорж, Ш.Цэрэн, Ө.Нямдорж (1966). БНМАУ-ын рашаан. Улсын хэвлэлийн хэрэг эрхлэх хороо.
8. Т.Булган (2008). Усны химийн шинжилгээний аргачлал. Байгаль орчин, аялал жуулчлалын яам. УБ. х. 120-145
9. А.О.Алекин. (1953). Основы гидрохимии. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград. стр.162
10. A.William, B.Patrick (2011). Water chemistry. United States of America. p.449
11. Д.Аваадорж (2014). Хөрс судлал. УБ. х.24-35
12. K.Nakayama, T.Nakamura (2008). Calibrating standards using chemical reagents for glass bead x-ray fluorescence analyses of geochemical samples. *X-Ray Spectrometry*, 37(3), 204–209. <https://doi.org/10.1002/xrs.1042>
13. E.Fomina, E.Kozlov (2020). Application of the Method of Statistical Comparison of XRD-and XRF-Data for Identification of the Most Representative Rock Samples: A Case Study of an Extensive Collection of Carbonatites and Aluminosilicate Rocks of the Kontozero Alkaline Complex (Kola Peninsula, NW Russia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 609:012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012050>
14. R.O.Fournier. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*. [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(77\)90007-4](https://doi.org/10.1016/0375-6505(77)90007-4)
15. R.O.Fournier, A.H.Truesdell (1972). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37: 1255–1275. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90060-4)
16. А.И.Перельман (1982). Геохимия природных вод. *Наука*. p.154-166
17. B.Zhang, D.Zhao, P.Zhou, S.Qu, F.Liao, G.Wang (2020). Hydrochemical Characteristics of Groundwater and Dominant Water-Rock Interactions in the Delingha Area, Qaidam Basin, Northwest China. *Water*, 12(3):836. <https://doi.org/10.3390/w12030836>

18. Н.Батсүх (2012). Гидрогеологи. УБ. 68-74.
19. F.Yifan, P.Zonghe, L.Dawei, J.Tian, Y.Hao, T.Huang, Y.Li. (2019). Hydrogeochemical characteristics and genesis of geothermal water from the Ganzi geothermal field, Eastern Tibetan Plateau. *Water*, 11(8):1631. <https://doi.org/10.3390/w11081631>
20. C.Mihai, B.Gheorghe (2008). Mineralogical-Petrographical observations on metamorphic transformations in the Gabbroids from transitional zone of the Iuti-Tisovita-Plavisevita Ophiolitic Complex. *Buletinil*, 4A: 273–278.
21. L.Bouragba, M.L.Jacques, L.Bouchaou, Y.Hsissou, T.Tagma (2011). Characterization of groundwater in the Souss upstream basin: Hydrochemical and environmental isotopes approaches. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4:307.
22. M.Ta, X.Zhou, J.Guo, X.Wang, Y.Wang, Y.Xu (2020). The Evolution and sources of major ions in hot springs in the triassic carbonates of Chongqing, China. *Water*, 12(4):1194. <https://doi.org/10.3390/w12041194>
23. M.Ahmad, W.Akram, N.Ahmad, M.A.Tasneem, M.Rafiq, Z.Latif. (2002). Assessment of reservoir temperatures of thermal springs of the northern areas of Pakistan by chemical and isotope geothermometry. *Geothermics*, 31(5):613-631. [https://doi.org/10.1016/S0375-6505\(02\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0375-6505(02)00009-3)
24. M.Yousif, A.El-Aassar (2018). Rock-water interaction processes based on geochemical modeling and remote sensing applications in hyper-arid environment: Cases from the southeastern region of Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, 42(1):4. <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0004-7>
25. Шварцев (1996). Общая гидрогеология. *Недра*. стр.127-188
26. C.W.Karingithi (2009). Chemical geothermometers for geothermal exploration. *Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources*. 1–12.
27. S.Arnórsson (1983). Chemical equilibria in icelandic geothermal systems-Implications for chemical geothermometry investigations. *Geothermics*. 12(2–3):119–128. [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(83\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0375-6505(83)90022-6)
28. Q.Guo, Z.Pang, Y.Wang, J.Tian (2017). Fluid geochemistry and geothermometry applications of the Kangding high-temperature geothermal system in eastern Himalayas. *Applied Geochemistry*, 81:63. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.03.007>
29. J.Wang, M.Jin, B.Jia, F.Kang (2015). Hydrochemical characteristics and geothermometry applications of thermal groundwater in northern Jinan, Shandong, China. *Geothermics*, 57:185–195. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.07.002>
30. D.Oyuntsetseg, D.Ganchimeg, A.Minjigmaa, A.Ueda, M.Kusakabe (2015). Isotopic and chemical studies of hot and cold springs in western part of Khangai Mountain region, Mongolia, for geothermal exploration. *Geothermics*, 53:488–497. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.08.010>
31. G.Bignall, P.Dorj, B.Batkhishig, N.Tsuchiya (2005). Geothermal Resources and Development in Mongolia: Country Update. *World Geothermal Congress 2005*:1–7.
32. A.Shestakova, N.Guseva, Y.Kopylova, A.Khvashevskaya, D.Polya, I.Tokarev (2018). Geothermometry and Isotope Geochemistry of CO₂-Rich Thermal Waters in Choygan, East Tuva, Russia. *Water*, 10(6):729. <https://doi.org/10.3390/w10060729>
33. A.Sodov, O.Gaskova, A.Gankhuyag, D.Lkhagvasuren, O.Dorjsuren, O.Tumen-Ulzii, B.Altanbaatar (2018). New orogenic type gold occurrences in the Uyanga ore knot (Central Mongolia). *Mongolian Geoscientist*, 47, 22–36. <https://doi.org/10.5564/mgs.v0i47.1062>

Hydrogeochemical study of hot springs in western region of Mongolia

Chimeddorj Bolormaa^{1,2}, Dolgorjav Oyuntsetseg³, Oyuntsetseg Bolormaa^{1*}

¹Department of Chemistry, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14201, Mongolia

²Department of Chemistry, The Branch School in Khovd province of National University of Mongolia, Khovd 84170, Mongolia

³Laboratory of Ecological Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia

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

ORCID: [0000-0002-2861-7841](https://orcid.org/0000-0002-2861-7841)

Submitted: 15.10.2022

Reviewed: 01.11.2022

Accepted: 20.12.2022

Abstract: According to the hydrogeological zoning in the western region of Mongolia, there are 9 hot springs such as Gantz mod, Chikhertei, Aksu, and Indert hot spring of Mongol-Altai mountains, and Otgontenger, Khojuul, Zart, Tsetsuuh, and Ulaan Khaalga of Khangai mountains. In this study, we selected these hot springs as research objects. The aim was to determine the chemical composition and chemical composition of the mineral rocks dissolved in the springs, determine the water-rock interaction, determine the temperature of the underground hot water in the springs, and determine the depth of circulation of the underground reservoir. The hot springs of Mongolia-Altai region have a temperature of 23.3-33°C or warm, pH 8.3-9.19 alkaline environment and chemical composition is Aksu, Gantzmodi spring HCO₃-Na, Chikhertei spring HCO₃-SO₄-Na, Indert hot spring SO₄-Na. It was determined that the springs of Khangai region have a temperature of 33-45.5°C, pH 8.36-9.56 alkaline environment, Zart, Tsetsuuh, and Ulaan Khaalga springs belong to the SO₄-Na type, and Khojuul and Otgontenger springs belong to the HCO₃-SO₄-Na type. It was found that the chemical composition of the hot springs of Mongolia-Altai region depends on the altitude, and the mineralization increases from northwest to southeast, from HCO₃-Na to HCO₃-SO₄-Na, and to SO₄-Na in the lowlands. The temperature of the underground reservoir of hot springs in the western region was determined to be 98-134°C by chemical geothermometry. When calculating the depth of the underground reservoir of these hot springs, it was proved that they are 2600-3300 meters below the surface in Mongolia-Altai region, and 1500-1600 meters in Khangai region. Underground hot water in western region of Mongolia can be developed for direct use, such as thermal energy, greenhouse farming, fish breeding, snowmelt, bathing, swimming pools, water sports, spas, and nature tourism. Furthermore, it was also determined that the temperature of underground hot water is 98-134°C, so it is possible to extract electricity by using the binary system.

Keywords: *geothermal water, geothermometer, energy*

© The Author(s). 2022 **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.v10i10.1812>