

Литийн хүдрийн эрдэс бүрдэл, химийн найрлага

Д.Хасбаатар¹, Д.Баасанжав², Б.Оргилбаяр², Ц.Загарзүсэм², С.Сүхбат², Б.Өнөрсайхан², Ц.Дэжидмаа¹, Э.Отгонжаргал^{2*}

¹Монгол улсын их сургуулийн Инженер технологийн сургууль, Улаанбаатар, Монгол улс

²Шинжлэх ухааны академийн Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Улаанбаатар, Монгол улс

[*otgonjargale@mas.ac.mn](mailto:otgonjargale@mas.ac.mn)

Хураангуй. Дэлхийн улс орнууд өөрийн онцлогт тохирсон чухал ашигт эрдсээ тодорхойлсоор ирсэн ба Монгол улс анх удаа 11 ашигт малтмалын жагсаалтыг гаргасан бөгөөд түүний нэг нь лити агуулсан эрдэс юм. Литийн эрдэс бүрдэл химийн найрлагыг нарийвчлан тодорхойлох нь судалгааны ажлын суурь төдийгүй литийн хүдрийг боловсруулах технологийн дараагийн процесст чухал ач холбогдолтой. Иймд энэхүү судалгааны ажлаар литийн чулуун ордын дээжийг сонгон авч, анхдагч хүдрийн чулуулаг, эрдэс бүрдэл, химийн найрлагыг уламжлалт болон багажит шинжилгээний аргаар тодорхойллоо. Петрографийн шинжилгээгээр чулууны реликт бүтцийг харахад анхдагч чулуу нь диорит, порфир байсан бөгөөд хүчтэй грейзэнжих (метасоматоз) хувирлын үр дүнд чулуунд их хэмжээний харьцангуй том ширхэгтэй мусковитын пластинкууд үүсэж, чулуун болон анхдагч плагиоклазыг түрж, бүрж үүссэн байна. Минералогийн шинжилгээнд бэлтгэсэн шлихийг микроскопоор харахад маш бага хэсэг нь хүнд эрдэс болох магнетит, ильменит, лейкоксен, сфен, циркон болон ихэнх хэсэг нь хөнгөн фракцын эрдсүүд болох альбит, лити агуулсан эрдэс, мусковит, кварц тодорхойлогдсон байна. Анхдагч хүдрийн рентген туяаны флуоресценц (XRF)-ийн шинжилгээний дүнд Si-ийн агуулга 78.39 %, Al-ийн агуулга 15.02 % байсан бол рентген дифрактометрийн (XRD) шинжилгээний дүнгээр литийн хүдрийн эрдэс болох петалит, сподумен, амблигонит, хүдрийн бус эрдсүүд болох альбит, ортоклаз, анортит зэрэг алюмосиликатын төрлийн эрдсүүдийг голлон агуулж байна. Анхдагч хүдэр дэх химийн шинжилгээний дүнгээс үзвэл Li-ийн агуулга 1% орчим байгааг харж болно. Хортой хольц болох хүхрийн агуулга <0.01 % байгаа тул цаашид боловсруулахад технологийн хүндрэл гарахгүй.

Түлхүүр үг: петалит, сподумен, амблигонит, петрографи, минералоги

ОРШИЛ

Эдийн засгийн хувьд хамгийн чухал, нийлүүлэлтийн эрсдэл өндөртэй эрдсүүдийг чухал ашигт эрдсүүд гэнэ [1]. Чухал ашигт эрдсүүд нь мэдээллийн технологи, дэвшилтэт материал, эрчим хүчний шинэ эх үүсвэр, биотехнологи, сансар огторгуй, батлан хамгаалах зэрэг дэвшилтэт үйлдвэрлэлийн үндсэн түүхий эд болно [2]. Жишээлбэл: Гянт болд нь гар утасны чичиргээ үүсгэдэг бол галли ба индий нь гэрэл ялгаруулдаг диодын технологийн нэг хэсэг болно. Литийн хувьд шил, паалан, керамик үйлдвэр, тосолгооны материал, эмийн

бүтээгдэхүүн, гангийн болон хөнгөн цагааны металлургид өргөн хэрэглэдэг [1, 2].

Монгол Улс 2024 онд анх удаа 11 ашигт малтмалыг чухал ач холбогдолтой жагсаалтад оруулах санал гаргасан бөгөөд үүнд молибден, марганец, никель, зэс, жонш, бал чулуу, газрын ховор элемент, кобальт, лити, цагаан алтны бүлгийн металл, вольфрам зэрэг багтдаг [3]. Монгол улсын литийн нөөцийн хэмжээ 2021 оны байдлаар 565.7 мянган тонн, 2024 оны байдлаар 683.6 мянган тонн болж нэмэгдсэн байна.

Ашиглалтын лицензтэй Хөх Дэл, Мөнхтийн Цагаан Дөрвөлжин, Арбаян зэрэг 3 орд байна. Эдгээр ордуудаас гадна 20 гаруй хайгуулын лиценз бүхий литийн ордууд илрээд байгаа бөгөөд зарим нь нөөцөөрөө дэлхийд дээгүүр орохоор литийн агуулгатай болох нь тодорхойлогдсон байна [4].

Дэлхийн царцдаст литийн дундаж агуулга $2.7 \cdot 10^{-3}$ % байх бөгөөд 150 орчим эрдсийн бүрэлдэхүүнд лити агуулагдаж, ихэнхдээ силикат болон фосфат хэлбэрийн нэгдэл үүсгэдэг ба эдгээр эрдсийг боловсруулан лити гарган авдаг. Сподумен, петалит, лепидолит, ховроор амблигонит, эвкрипит агуулагч пегматит, гранит зэрэг литийн голлох эрдсүүд байдаг бол бусад орнуудад литийгээр баяжсан ус (ширгэсэн нуурын давсны уусмал (рапа), гүний ба ууршилт ихтэй усан сангийн шорвог ус, нефтийн иодобромын эрдэслэг гүний ус)-аас литийг олборлодог [5]. Метасоматит хувирсан гранит, янз бүрийн төрлийн грейзены ордуудын олборлолтын явцад зиннвальдит, лепидолит, полилитоинит зэрэг гялтгануураас литийг дагалдах ашигт эрдсүүдээс олборлох боломжтой. Li_2O -ын хэмжээгээр литийн агуулгыг тодорхойлдог ба литийн хүдрийн дундаж

агуулга 0.7 % байдаг. Эдийн засгийн ач холбогдолтой литийн эрдсүүд нь сподумен ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$), петалит ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$), лепидолит $((\text{Li},\text{Al})_3(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2)$, амблигонит ($\text{Li},\text{Al}(\text{F},\text{OH})\text{PO}_4$) болон зиннвальдит ($\text{K}(\text{Li},\text{Al},\text{Fe})_3(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}\text{F}_2$) байдаг. Эдгээр эрдсүүд дэх Li_2O -ийн агуулга нь 2-9 % байна [6]. Литийг ихэвчлэн бага агуулгатай (0.2-0.7 мг/л) давсны уусмал, өндөр агуулгатай лити-цези-тантал пегматитын ордуудаас баяжуулан гарган авдаг бол ирээдүйд лити агуулсан шаварлаг эрдсээс гарган авах магадлалтай ажээ [7]. Пегматитууд нь давсны уусмалтай харьцуулахад илүү өргөн тархалттай, баяжуулах болон боловсруулах үйлдвэрийн нийлүүлэлтэд тасалдал үүсгэхгүй, эдийн засгийн үнийн өсөлтөд тогтвортой байдаг [8].

Литийн хүдрийг баяжуулан, боловсруулж эдийн засгийн эргэлтэд оруулахын тулд Налайх дүүргээс баруун урагш орших, хайгуулын лиценз орд газрыг төлөөлөх дээжид анхдагч хүдрийн эрдэс бүрдэл, химийн найрлагыг тодорхойлж цаашид туршилт явуулах боломжийг бүрдүүлэх нь судалгааны ажлын зорилго болно.

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ БА АРГА ЗҮЙ

хацарт бутлуураар -2 мм хүртэл буталж цаашид дахин хольж хуваан багасгах замаар химийн болон судалгаанд төлөөлөх чадвартай дээжийг бэлдсэн. Дээжийг лабораторийн туршилт шинжилгээнд бэлтгэх схемийг 1-р зурагт үзүүлэв.

Литийн хүдрийн элементийн агуулгыг тодорхойлох зорилгоор дээжийг 2 өөр аргаар уусган туршилтыг гүйцэтгэлээ. Үүнд:

Шүлтийн металлын давсаар боловсруулах:

Литийн хүдрийн дээжээс 1 граммыг жинлэж, тигельд хийж, 5 грамм шүлтийн металлын давс (Na_2CO_3)-тай холин, нэмэлтээр 1 грамм бура нэмнэ. Дулааны боловсруулалтыг 1000°C -д 60 минутын

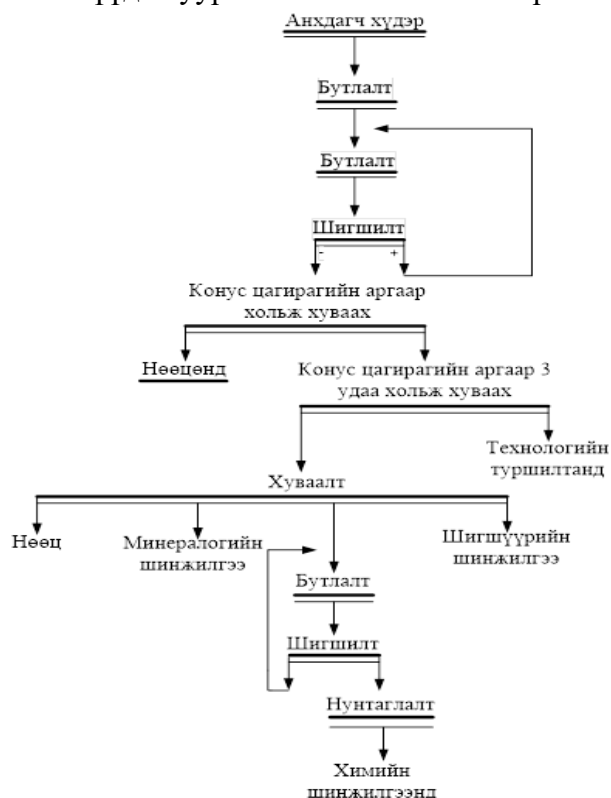
Дээжийн химийн боловсруулалт хийхэд шаардагдах натрийн тетраборат ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ба натрийн карбонат (Na_2CO_3), бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), азотын хүчил (HNO_3), давсны хүчил (HCl), хлорын хүчил (HClO_4) ба фторын хүчил (HF) зэрэг Aldrich-д үйлдвэрлэсэн бодисууд ашиглалаа. Дээжийг Налайх дүүргээс баруун урагш орших хайгуулын лицензтэй талбайгаас авсан ба нийт жин 250 кг, хамгийн том ширхгийн хэмжээ 100 мм байсан. Анхдагч литийн хүдрийн дээжийг -10 мм хүртэл хацарт бутлуураар бутлан дундажлан хольж цагариг конусын арга болон джонсон хуваагчаар багасгаж нэг хэсгийг нь нөөцөд, нөгөө хэсгийг нь туршилтад бэлтгэх зорилгоор дахин

турш хийж хайлуулна. Бүрэн хайлмаг үүсмэгц агаарт хөргөж, хатуу шилэн бөөмийг бутлан, нэрмэл усаар уусгана. Үл уусах хэсгийг шүүж, хэмжээст колбонд эзлэхүүнийг тохируулан шингэлж шинжилгээнд бэлдэнэ [9].

Дөрвөн хүчлийн аргаар уусмалд шилжүүлэх:

Бэлтгэсэн дээжээс 1г-ыг жинлэн Teflon саванд хийж 10 мл HF, 3 мл HNO₃-ийг тус тус хийж 100°C хүртэл халаан уусалтын процессыг 2 цаг явуулна. Дараа нь HF, HNO₃-ийн илүүдэл уурыг

бүрэн зайлуулна. Үлдэгдлийг хөргөсний дараа 2 мл концентрацтай перхлорын хүчил (HClO₄) нэмж, зөөлөн халаах замаар 100°C хүргэх ба шаардлагатай бол температурыг аажмаар нэмэгдүүлж, бүрэн урвалд оруулна. Үүний дараа хөргөж, 5–10 мл концентрацтай HCl хийж, дахин бага температураас эхлэн 100–120 °C хүртэл халаан үлдсэн эрдсийг бүрэн уусгана. Ууссан дээжийг хэмжээст колбонд хийн хэмжээс хүртэл нэрмэл ус нэмнэ. Бэлэн болсон дээжийг ICP-OES-оор хэмжинэ [9].



1-р зураг. Дээж бэлтгэлийн технологийн схем

Литийн хүдрийн найрлагыг бүрэн ойлтын рентгенфлуоресценцийн спектрометрээр (XRF Analyzer RoHS 2.0) [10], эрдсийн найрлагыг рентген дифрактометр (XRD-Philips PW1800)

шинжилж, химийн шинжилгээг ICP OES (Perkin-Elmer Optima 5300 DV) төхөөрөмж ашиглан тодорхойлсон болно [10-12].

ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Литийн хүдрийн ордын дээж нь 300 мм-ээс дээш ширхэглэлтэй байсан ба минералог, петрографийн судалгааны дүнг 1 болон 2-р хүснэгтээр үзүүлэв. Чулууны реликт бүтцээс харахад

анхдагч чулуу нь диорит, порфир байсан бөгөөд хүчтэй грейзэнжих (метасоматоз) хувирлын үр дүнд чулуунд их хэмжээний харьцангуй том ширхэгтэй мусковитын пластинкууд үүсэж, чулуун

болон анхдагч плагиоклазыг түрж, бүрж үүссэн байна. Плагиоклазын том шигтгээ маягийн ялгарлууд нь хүчтэй альбитчлагдаж, альбитад бүрэн хувирсан ба зарим захаасаа бичил гранобласт агрегатад дахин талсжсан ба захаасаа мусковитоор хүчтэй түрэгдсэн

байна. Үндсэн хэсэг нь плагиоклазын призмүүд (0.3-2.5мм-ийн хэмжээтэй) ба тэдгээрийн өнцөглөсөн зай завсраар мусковитын пластинкууд үүссэн ба реликт призмлэг мөхлөгт, субофитлог бүтэц нь хадгалагдан үлдсэн байна.

1-р хүснэгт. Петрограф, минераграфийн шинжилгээний дүн

№	Хээрийн тодорхойлолт	
1	Микроскопын тодорхойлолт	Метасоматозод хүчтэй хувирсан (грейзенжсэн) шигтгээ маягийн дунд ширхэгтэй мусковиттай диорит (диоритоор үүссэн альбит-мусковитат метасоматит)
2	Структур	Шигтгээ маягийн, үндсэн хэсэг -реликт призмлэг мөхлөгт, гранолепидобластлаг
3	Текстур	Цул нягт, линзлэг
4	Эрдсийн мөхлөгийн хэмжээ, мм	Шигтгээт. Ялтас-8.0-20.0 Үндсэн хэмжээ 0.3-3.5

2-р хүснэгтэд үзүүлсэн дүнгээс харахад том ширхэгтэй плагиоклазын шигтгээ маягийн ялгарлууд (45-50%)

болон плагиоклаз, мусковитаас тогтсон үндсэн хэсэг зэргээс бүрдэж байна.

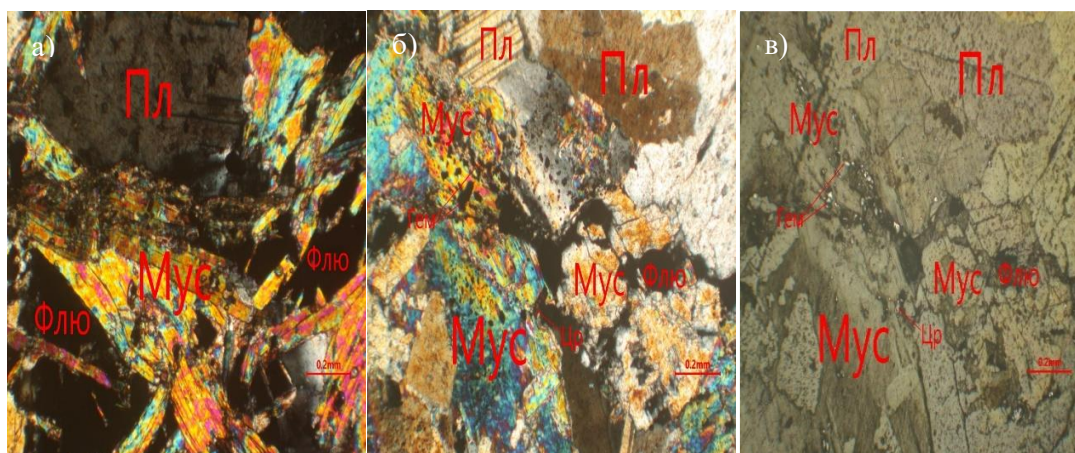
2-р хүснэгт. Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулга

Үндсэн	%	Хоёрдугаар зэргийн	%	Хоёрдогч	%	Хүдрийн эрдсийн үүссэн дэс дараалал
Плагиоклаз Мусковит	45-50 45-50	Гематит Магнетит Циркон Рутил	0.5 Цөөн Цөөн	Эпигенет: Флюорит	5-10	Магнетит-гематит-гидрогетит

Плагиоклаз нь альбитад бүрэн хувирсан ба захаасаа бичил ширхэгтэй гранобласт агрегатад шилжиж, мусковитоор хүчтэй түрэгдсэн байна. Мусковит (лепидолит бололтой, электрон микроскоп ба рентген диффрактометрийн шинжилгээгээр нарийвчлан тодорхойлох шаардлагатай) нь 0.1-3.0 мм-ийн хэмжээтэй, зонхилох хэмжээ нь 0.5-2.0 мм бөгөөд пластинкууд нь ихэвчлэн нэг дор бөөгнөрч үүссэн байна. Мусковитын пластинкууд болон ихэвчлэн түүний хуваагдлын ан цавын дагуу бичил ширхэгтэй изометрлэг, бичил призмлэг хэлбэртэй хүдрийн эрдсийн (гематит) мөхлөгүүд нэлээд ялгарч үүссэн харагдана (2-р зураг).

Тэдгээрийн зэрэгцээ рутил болон призмлэг хэлбэртэй цирконы мөхлөгүүд цөөнгүй ялгарч үүссэн байна. Плагиоклаз болон мусковитын хоорондох зай завсраар изомерлэг зөв, хааяа ромбо хэлбэртэй флюоритын 0.1-0.6 мм-ийн хэмжээтэй мөхлөгүүд дүүргэж үүссэн байна.

Ойсон гэрлээр харахад хүдрийн эрдсүүдээс гематит, магнетит тодорхойлогдсон ба гематит нь ойсон гэрэлд цагаан саарал өнгөтэй, 0.01-0.2 мм-ийн хэмжээтэй мөхлөгүүдийг үүсгэн ихэвчлэн мусковитын пластинкуудын хагарлын ан цавуудаар бичил линз байдлаар ялгарч үүссэн болохыг 2-р зурагт үзүүлэв.



2-р зураг. Литийн анхдагч хүдрийн микрофото
(Өсгөлт-50х. Ойсон гэрэлд Флю-флюорит, Мус-мусковит, Пл-плагиоклаз)

Анхдагч хүдрийн микрофотог ажиглахад, 2-р зургийн а-д метасоматозын үйлчлэлд хүчтэй өртөн грейзенжсэн, шигтгээ хэлбэр бүхий дунд ширхэгтэй мусковитын агууламжтай диорит дүрслэгджээ. Өсгөлт 50х, нэвтэрсэн гэрэлд, 2 никольтой ажиглалт хийхэд флюорит (Флю), мусковит (Мус) болон плагиоклаз (Пл) илэрсэн байна.

2-р зургийн б-д мусковитын пластинууд дээр ялгаран үүссэн

гематитын (Гем) бичил мөхлөгүүд болон бичил циркон (Цр) тодорхойлогдсон бөгөөд ажиглалтын нөхцөл нь мөн 50х өсгөлт, нэвтэрсэн гэрэл, 2 никольтой байв. Харин 2-р зургийн в-д мусковитын пластинууд дээр үүссэн гематитын бичил мөхлөгүүд болон бичил циркон ажиглагдсан байна. Дээжийн минералогийн шинжилгээний үр дүнг 3-р хүснэгтэд нэгтгэн харуулав.

3-р хүснэгт. Шлих бүрдүүлэгч эрдсүүдийн агуулга эрдсийн бичиглэл

Дээжийн жин	110.13 грамм		
Хүнд фракцын жин	0.02 грамм		
Магнетит	цт	Апатит	Цт
Ильменит	от	Барит	Цт
Лейкоксен	цт	Пирит	Цт
Сфен	цт	Рутил	Цт
Циркон	цт		
Хөнгөн фракцын жин	110.11 грамм		
Альбит			
Литий агуулсан эрдэс			
Мусковит			
Кварц			
Тайлбар: ит: 1-10 мөхлөг; от: 10-аас дээш мөхлөг <0.01г			

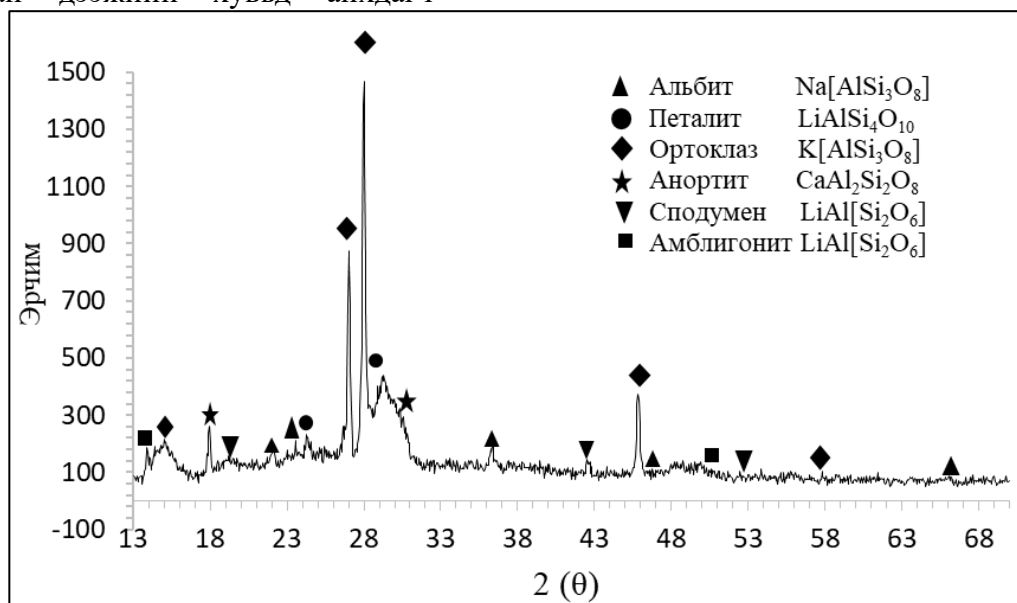
Эрдсийн шинжилгээнд бэлтгэсэн шлихийг микроскопоор харахад нийт 110.13г дээжээс 0.02г буюу маш бага хэсэг нь хүнд эрдэс ильменит олон тоогоор илэрсэн бол, магнетит,

лейкоксен, сфен, циркон, апатит, барит, пирит, рутил зэрэг эрдсүүд цөөн тоогоор байна. Ихэнх хэсэг нь хөнгөн фракцын эрдсүүд байгаа ба цахиур болон хөнгөнцагаан агуулсан эрдсүүд болох альбит, лити агуулсан эрдэс, мусковит,

кварц агуулсан байна. Иймд бидний судалгааны дээж нь алюмосиликатын төрлийн хүнд баяжигдах эрдэс байдлаар батлагдаж байна.

Байгальд ихээхэн тохиолддог сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ -ийн стехиометрийн химийн найрлага нь жингийн 8.03 % Li_2O агуулдаг бол бусад лити агуулсан ашигт эрдсүүд нь ихэвчлэн 1-3% Li_2O агуулдаг [11]. Бидний судалгаанд ашигласан дээжийн хувьд анхдагч

хүдэрт хийсэн рентген дифрактометрийн (XRD) шинжилгээний үр дүнд литийн хүдрийн эрдэс болох петалит (13.2%), сподумен (2.5%), амблигонит (4.3%), хүдрийн бус эрдсүүд болох альбит, ортоклаз, анортит зэрэг эрдсүүд илэрснийг 3-р зураг болон 4-р хүснэгтэд харууллаа.



3-р зураг. Литийн анхдагч хүдэрт хийсэн XRD шинжилгээ

4-р хүснэгтээс үзэхэд петалит, сподумен, амблигонит зэрэг гурван эрдэс зэрэгцэн оршиж байгаа нь баяжуулахад хүндрэл үүсэх боломжтой. Хээрийн жоншны өндөр агуулга, фосфат, карбонат, төмөр зэрэг дагалдах

эрдсүүд нь флотац, соронзон ялгалт, уусгалтын горимыг нарийн тохируулж, хүдрийн бүхэллэг, урвалжийн төрөл, температур, pH-г зөв сонгох шаардлагатай.

4-р хүснэгт. Анхдагч хүдэрт агуулагдах эрдсүүд

№	Эрдсийн нэр	Томьёо	Агуулга, жин. %
1	Хлорапатит	$\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$	4.5
2	Альбит	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	38.8
3	Петалит (голлох)	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$	13.2
4	Ортоклаз	KAlSi_3O_8	21.7
5	Анортит	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	7.6
6	Сподумен (голлох)	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	2.5
7	Амблигонит (дагалдах)	$\text{LiAlPO}_4(\text{OH}, \text{F})$	4.3
8	Кристалит	SiO_2	1.9
9	Кальцит	CaCO_3	3.4
10	Гётит	FeOOH	1.6

Фосфат, карбонат нь уусгалтын явцад тусгай нөхцөл, урвалжийн зарцуулалтыг нэмэгдүүлнэ. Иймээс эрдэс судалгаа, лабораторийн туршилт, технологийн схемийн оновчлолыг сайтар хийх нь баяжуулалт хийх гол хүчин зүйл болно.

Элемент ба ислийн шинжилгээний дүнгээс харахад SiO_2 78.39%, Al_2O_3 15.02% байгаа нь энэхүү хүдэр нь

алюмосиликат зонхилсон бүтэцтэй болохыг баталж байна. Литийн агуулга ICP шинжилгээгээр 1%-д хүрч (10155 мг/кг) буй нь үйлдвэрлэлийн чухал ач холбогдолтойн дээр, бага хэмжээгээр илэрсэн Co_3O_4 (0.14%), Rb_2O_3 (0.2%), WO_3 (0.04%) зэрэг исэл, мөн Fe, P, Ca, Mg зэрэг элементүүдийн дундаж агууламж нь баяжуулалтын горим тогтооход нөлөөлнө.

5-р хүснэгт. Хүдрийн химийн шинжилгээний дүн

Элемент	Al, %	As, мг/кг	Ba, мг/кг	Ca, %	Fe, %	K, %	La, мг/кг	Li, мг/кг	Mg, %	Mn, мг/кг
Агуулга	8.54	5	111	1.12	2.56	3.67	26	10155	0.26	894
Элемент	Mo, мг/кг	Na, %	Ni, мг/кг	S, %	Ti, %	V, мг/кг	W, мг/кг	Y, мг/кг	Zn, мг/кг	Zr, мг/кг
Агуулга	<1	3.24	<1	0.01	0.09	11	10	26	317	176

Тухайлбал фосфат, карбонат эрдсүүд хүчил-шүлтийн уусгалтын явцад урвалжийн зарцуулалт нэмэгдүүлэх, төмөр, магнийн эрдсүүд

флотацын нөхцөлд гадаргын шинжид нөлөөлөх, хатуулаг ихтэй цахиур нь нунтаглах, элэгдэх процесст хүндрэл учруулна.

6-р хүснэгт. XRF шинжилгээний дүн

Элементүүд	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	CaO	Mn_3O_4	Fe_2O_3	Co_3O_4	Rb_2O_3	WO_3
Агуулга, жин. %	1.98	15.02	78.39	0.02	0.4	0.01	1.07	0.14	0.2	0.04

Иймд туршилт, технологийн схемийг оновчлохдоо минералог, элемент-ислийн найрлага, тус бүрийн уусах ба баяжигдах шинж чанарыг нарийвчлан судалж, литийн гурван эрдсийг хам эсвэл салгаж боловсруулах боломжийг үнэлэх шаардлагатай болж байна. Мөн бага хэмжээгээр дагалдаж буй Co, Rb, W зэрэг элементийн эдийн засгийн үр өгөөжийг давхар тооцоолсноор баяжмал болон эцсийн

бүтээгдэхүүний эдийн засгийн үр өгөөжийг нэмэгдүүлэх боломжтой. Зарим бохирдуулагч (Fe, P, карбонат) элементүүдийг бууруулж, уусгалт болон цэвэршүүлэлтийн шат дахь алдагдлыг багасгахын тулд олон шатлалт физик-химийн туршилт хийх шаардлагатай бөгөөд ингэснээр үйлдвэрлэлийн ашигт ажиллагааг нэмэгдүүлж, эцсийн бүтээгдэхүүний чанарыг сайжруулах боломж бүрдэнэ.

ДҮГНЭЛТ

• Петрографийн судалгаагаар анхдагч чулуулаг нь диорит, порфир бөгөөд хүчтэй грейзэнжих (метасоматоз)

хувирлын нөлөөгөөр мусковитын томоохон пластин их хэмжээгээр үүсэж, плагиоклаз зэрэг анхдагч эрдсүүдийг

орлон талсжуулсан нь тогтоогдлоо. Мөн рентген дифрактометрийн шинжилгээгээр литийн хүдрийн гол эрдэс болох петалит (13.2%), сподумен (2.5%), амблигонит (4.3%) болон хээрийн жоншны бүлгийн эрдсүүд давамгайлж буй нь алюмосиликатын үндсэн бүтэцтэйг илтгэж байна.

• Шлихийн шинжилгээгээр 110.13 г дээжээс ердөө 0.02 г буюу маш бага хэсэг нь хүнд эрдсүүд болох магнетит, ильменит, сфен, циркон, харин ихэнх хэсгийг хөнгөн фракцын альбит, литийн эрдсүүд, мусковит, кварц эзэлж байв. XRF шинжилгээгээр SiO₂ 78.39%, Al₂O₃ 15.02% байгаа нь силикат-хөнгөн

цагааны өндөр агуулгатайг тодорхойлсон.

• ICP-OES шинжилгээгээр анхдагч хүдэрт Li 1% орчим (10.155 мг/кг) илэрсэн бөгөөд хүхрийн агуулга <0.01% байгаа нь цаашид баяжуулалт, боловсруулах явцад технологийн хүндрэл үүсэхгүй давуу талтайг харуулж байна.

• Петалит, сподумен, амблигонит зэрэг гурван төрлийн литийн эрдэс зэрэгцэн оршихын зэрэгцээ фосфат, карбонат, төмөр зэрэг дагалдах эрдсүүд байгаа нь энэхүү литийн хүдрийг баяжуулахад технологийн нарийн тохиргоо шаардагдана гэж үзэж байна.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

1. Yang W, Manli H, Yanming Z, Yong Q, Ying S, Kailong D. 2025. Mineralogy, geochemistry and enrichment mechanism of critical elements (Li and Zr-Nb-Hf-Ta-REY) in the coals from western Guizhou Province, China: Source and sedimentary environment, *Ore Geology Reviews*, Volume 176.
2. E. Commission Critical Raw Materials Resilience. 2020. Charting a Path towards greater Security and Sustainability <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/critical-raw-materials-resilience-chartingpath-towards-greater-security-and-sustainability>.
3. Mongolia is set to announce its list of critical minerals. 2024. <https://www.mongolianminingjournal.com/a/73569>.
4. ЗГХА, АМГТГ, Эрдэс баялгийн статистик мэдээ. 2021. <https://mrpam.gov.mn/public/pages/169/2021.12.stat.report.mon.pdf>.
5. Wietelmann, Ulrich & Bauer, Richard. 2000. Lithium and Lithium Compounds. 10.1002/14356007.a15-393.
6. Монгол Улсын ашигт малтмалын баялаг, нөөцийн ангиллыг тухайн төрлийн ашигт малтмалд хэрэглэх нь Аргачлалын зөвлөмж (лити, цези) УБ-2021.
7. K. Evans. 2014. Lithium, in: G. Gunn (Ed.) *Critical Metals Handbook*, John Wiley & Sons, Oxford, pp. 230–260.
8. Zhang, X., Zhao, W., Zhang, Y., and Jegatheesan, V. (2021a). A review of resource recovery from seawater desalination brine. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 20, 333–361.
9. Potts, Philip. 1987. *A Handbook of Silicate Rock Analysis*. 10.1007/978-1-4615-3270-5_2.
10. Grigor'evich, Revenko. 2022. Book review for a book by M. Haschke, J. Flock, M. Haller "Laboratory Applications of X-ray.
11. Sardisco, L., Hannula, P. -M., Pearce, T. J., & Morgan, L. (2022). Multi-Technique Analytical Approach to Quantitative Analysis of Spodumene. *Minerals*, 12(2), 175. <https://doi.org/10.3390/min12020175>.
12. Borg, Gregor. 2024. Fundamentals of Lithium Enrichment - from Geological processes to Ore Mineral Concentrates. *World of Mining - Surface and Underground*. 76. 2-14.

Mineral composition and chemical content of lithium ore

D.Khasbaatar¹, D. Baasanjav², B. Orgilbayar², Ts. Zagarsüsem², S. Sukhbat², B.Önörsaikhan²,
Ts.Dejidmaa¹, E.Otgonjargal^{2*}

¹*School of Engineering and Technology, National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia*

²*Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian academy of Sciences,
Ulaanbaatar, Mongolia*

**otgonjargale@mas.ac.mn*

Abstract. Countries around the world have identified their own critical minerals, and Mongolia has recently announced a list of 11 strategic minerals, one of which includes lithium-bearing minerals. Accurate determination of the mineral composition and chemical content of lithium ore is not only the foundation of scientific research but also crucial for the subsequent technological processes in lithium ore processing.

In this study, samples from a lithium-bearing rock deposit were selected to determine the primary rock types, mineral composition, and chemical content using both classical and instrumental analysis methods. Petrographic analysis of the rock's relict structure revealed that the primary rock is a diorite porphyry, which underwent strong greisen (metasomatic) alteration, resulting in the formation of relatively large muscovite plates that replaced and coated the rock and primary plagioclase minerals.

Microscopic analysis of the mineralogical concentrate showed a very small portion of heavy minerals such as magnetite, ilmenite, leucoxene, sphene, and zircon, while the majority consisted of light fraction minerals such as albite, lithium-bearing minerals, muscovite, and quartz.

X-ray fluorescence (XRF) analysis of the primary ore indicated Si content at 78.39% and Al content at 15.02%. X-ray diffraction (XRD) analysis identified lithium ore minerals such as petalite, spodumene, and amblygonite, along with non-ore aluminosilicate minerals such as albite, orthoclase, and anorthite.

The chemical analysis of the primary ore showed an approximate lithium content of 1%. The sulfur content, a harmful impurity, was less than 0.01%, suggesting no significant challenges for further processing.

Keywords: *petalite, spodumene, amblygonite, petrography, mineralogy*

© Author (s), 2024



Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>