

Литийн хүдэр, баяжмалын дулааны боловсруулалт: Уусамтгай литийн нэгдэл үүсгэх боломж

Д. Хасбаатар¹, Ж. Эрдэнэсүвд², Б.Оргилбаяр², Ц.Загарзүсэм², Б. 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

Хураангуй. Петалит агуулсан литийн хүдэр болон баяжмалыг дулааны боловсруулалт хийж литийн эрдсийг уусмал байдал руу шилжүүлэх судалгааг хийж гүйцэтгэлээ. Дээжийг 800 °C-аас дээш температурт дулааны боловсруулалт хийхэд цахиурын оксидын агуулга өндөртэй байгаагаас шалтгаалан шилэн фаз үүсэж байгаа нь уусалтын процесс явуулахад хүндрэл учирч байсан тул 800 °C температурт дулааны боловсруулалт хийж, уусалтын судалгаа хийв. Дулааны боловсруулалтыг массын харьцаа, температур, шатаалтын хугацаа, хольц урвалжуудаас хамааруулан судаллаа. Дулааны боловсруулалт хийсний дараа дээжийг хатуу-шингэний харьцаа, уусгалтын температур, уусгалтын хугацаа зэрэг параметруудээс хамаарлыг судалж тохиромжтой горимыг тодорхойлсон. Литийн хүдэр болон баяжмалыг NaCl болон CaCl₂·3H₂O-тай 1:1:5 харьцаагаар хольж 800 °C-д 2 цаг шатаан, дээжийг 60 °C-ын температурт, 320 эрг/мин хурдтайгаар соронзон хутгуурын эргэлтийг тохируулан, хатуу-шингэний харьцааг 1:7.5, туршилтын хугацааг 3 цагаар авахад петалитын хүдрийн 97.36 % нь усан уусмалд шилжсэн тул оновчтой нөхцөл гэж үзлээ.

Түлхүүр үг: баяжмал, хольц, урвалж, дулаан боловсруулалт, уусгалт

ОРШИЛ

Лити нь эрчим хүч, электроник, цахилгаан химийн үйлдвэрлэл, ялангуяа өндөр хүчин чадлын зай, батарейны үйлдвэрлэлд өргөн хэрэглэгддэг, стратегийн ач холбогдолтой металл юм. Байгаль дахь литийн эх үүсвэрүүд нь голлон сподумен, петалит, лепидолит зэрэг эрдэс агуулсан хүдэр, баяжмал хэлбэрээр тохиолдоно [1]. Эдгээр түүхий эдийг дулааны болон химийн боловсруулалтын аргаар уусдаг литийн нэгдэл болгон хувиргаж, улмаар Li₂CO₃, LiCl, LiOH, Li₂O болон металл Li үйлдвэрлэх боломжтой. Гэвч боловсруулах үеийн техник, технологийн шийдэл, реакторын төрөл, эрдсийн царцдас дахь бусад дагалдах эрдэс, элементийн нөлөө зэрэг нь литийн гарцыг бууруулж болзошгүй, зохистой технологи тогтооход хүндрэл учруулдаг. Иймээс литийн хүдэр баяжмалыг эдийн засгийн хувьд үр ашигтай, байгаль орчинд ээлтэй, цогц технологиор

боловсруулах судалгааны ажил улам бүр эрчимжсээр байна [2, 3].

Уламжлалт технологид литийн хүдэр, баяжмалыг шүлтийн эсвэл хүчилд уусгах, шат дамжлагат дулааны боловсруулалт хийх аргууд зонхилон хэрэглэгдэж байсан. Тухайлбал, α-сподуменийг хүхрийн хүчлийн орчинд задлахад дулааны урвалын горим нарийн шаардлагатай бөгөөд хүчилд тэсвэртэй фаз үүсгэдэг нь уусалтын түвшнийг бууруулдаг гэж судлаачид тэмдэглэсэн байдаг. Харин перо-химийн аргын хувьд натрийн сульфат, кальцийн оксид, давсны хүчил, шохойн чулуу болон бусад химийн бодистой хольж 800–1000 °C-ийн температурт шатаах замаар α-сподуменийг β-сподумен хэлбэрт шилжүүлэх нь уусалтын үр ашиг, урвалын хурдыг нэмэгдүүлэх нэгэн шийдэл болжээ. Мөн петалит, лепидолит гэх мэт бусад литийн эрдсийг өндөр температурын дулааны боловсруулалт, усан ба хүчил-шүлтийн орчинд уусгах замаар литийг үр дүнтэй гарган авахыг

зорьсон судалгаанууд сүүлийн жилүүдэд идэвхтэй хийгдэж байна [4,5].

Петалит нь өөрөө сподумений адил алюмосиликатын бүтэцтэй тул тодорхой нөхцөлд сподуменд шилжих боломжтой боловч дулааны боловсруулалтын горим, химийн урвалжийн харьцааг оновчтой тодорхойлоогүй тохиолдолд өндөр температурт шилэн фазаар бүрхэгдэх эрсдэлтэй байдаг. Иймээс термохимийн хувирал ба гидрохимийн уусалтын шатыг уялдуулсан, нарийн тохируулгатай технологи сонгох шаардлагатай [6].

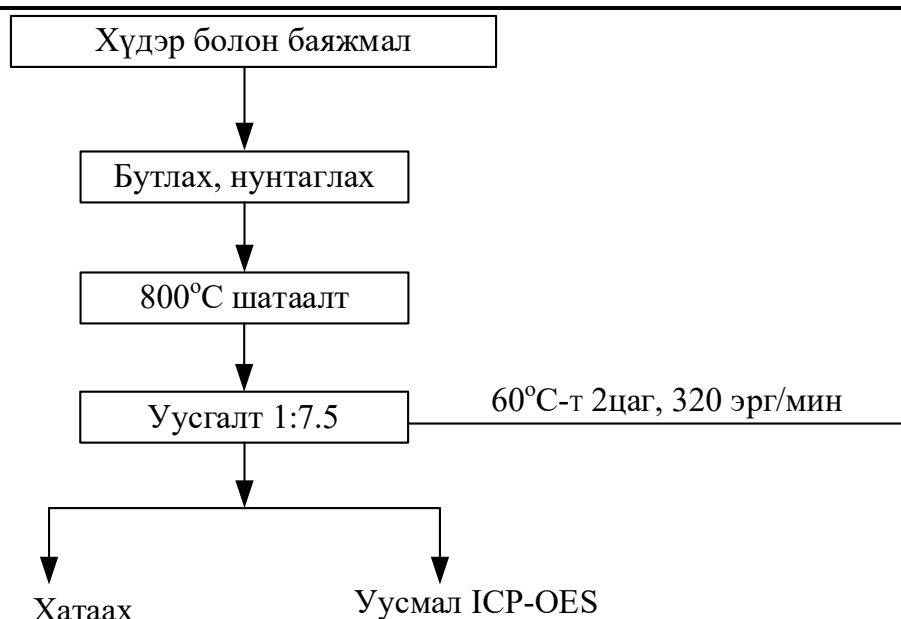
Энэхүү судалгаанд петалит агуулсан литийн хүдэр, баяжмалыг

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ БА АРГА ЗҮЙ

Дээжийн химийн боловсруулалтыг хийхэд шаардагдах натрийн тетраборат $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{CaO}$; $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeSO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ болон $\text{CaO} + \text{CaCO}_3$ зэрэг Aldrich-д үйлдвэрлэсэн бодисыг ашигласан. Судалгааны дээжийг Налайх дүүргээс баруун урагш орших хайгуулын лицензтэй талбайгаас авсан. Анхдагч хүдрийн дээж (АХД) болон литийн баяжмалын дээж (ЛБД)-ийн ширхгийн хэмжээг 74 мкм-ээр бэлтгэсэн.

$\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, NaCl зэрэг химийн цэвэр урвалжуудтай хольж, өндөр температурт ($800\text{ }^\circ\text{C}$) тодорхой хугацаагаар шатаах горимыг нарийн тогтоосон. Улмаар шатаалтын дараах хатуу фазыг усан орчинд уусгахад 97 орчим хувийн литийн уусалттай байна гэж тогтоосон нь үйлдвэрлэлийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх, бага өртөгтэй, байгаль орчинд ээлтэй нөхцөлийг бүрдүүлэх боломжтойг харуулсан. Энэхүү арга нь петалит агуулсан хүдэр, баяжмалаас литийг үр ашигтай гарган авах шинэ шатны туршлага болохоос гадна бусад төрлийн литийн эрдсийг аналог байдлаар боловсруулж, салбарын цар хүрээг өргөжүүлэх давуу талтай юм.

АХД, ЛБД дээжид дулааны боловсруулалт хийхдээ $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{CaO}$; $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeSO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ болон $\text{CaO} + \text{CaCO}_3$ зэрэг урвалжийг 2-р хүснэгтэд үзүүлсэн харьцаатайгаар хольж 1-р зурагт үзүүлсэн схемийн дагуу дээжийн уусалтын процессыг хийж гүйцэтгэсэн. Дулааны боловсруулалтын дараа 2 дээжийг 1-р хүснэгтэд үзүүлснээр уусгалтыг хийсэн болно.



1-р зураг. Литийн хүдрийн баяжмалыг уусмалд шилжүүлэх процессын схем

ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Анхдагч хүдэрт минералог, петрографийн шинжилгээ хийж эрдсийн найрлага болон элементийн агуулгыг тодорхойлсон дүнг өмнөх судалгааны ажилд тусгасан болно. Шинжилгээний дүнгээс үзэхэд лити агуулсан голлох эрдэс нь петалит, сподумен, амблигонит, хүдрийн бус эрдсүүд нь кварц, хээрийн жонш, альбит зэрэг силикатын төрлийн эрдсүүд тодорхойлогдсон ба анхдагч хүдэрт Li-ийн агуулга 1% байлаа. Литийн хүдрийг баяжуулах, дулааны процесст эсрэг нөлөө үзүүлдэг элементийн нэг болох хүхрийн агуулга

<0.01% байгаа нь хүдэр болон баяжмалыг боловсруулахад тохиромжтой гэж үзэж байна.

Анхдагч хүдрийн дээжийн 80%-ийг 74 мкм болтол нунтаглан, үндсэн болон нэгдүгээр шатны цэвэрлэгээний флотацаар баяжуулсан бөгөөд 1-р хүснэгтэд үзүүлснээр баяжмал дахь литийн агуулга 1.82% болсон ба Fe, Na, Ca-ийн агуулга багасаж, Al, K-ийн агуулга нэмэгдсэн. Литийн баяжмал (ЛБД) дахь Li-ийг оксид хэлбэрт тооцоолоход 3.9%-ийн Li₂O-ийн агуулгатай болох нь тогтоогдсон.

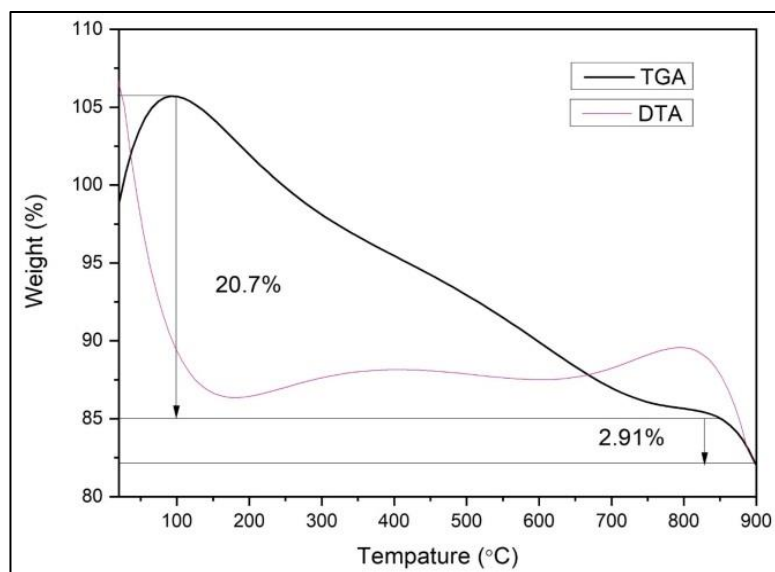
1-р хүснэгт. Хүдэр баяжмалын химийн найрлага

№	Дээж	Элементүүдийн агуулга, %									
		Li	Fe	Al	Mg	Ca	Na	K	Mn	S	P
1	АХД	1.01	0.28	10.24	0.369	1.14	3.95	4.38	0.10	0.06	0.002
2	ЛБД	1.82	0.01	10.3	0.589	0.62	1.54	7.08	0.15	0.09	-

АХД, ЛБД-ийг дулааны боловсруулалт хийхээс өмнө термогравиметрийн шинжилгээ хийж дулааны шинж чанарын шинжилгээг хийж гүйцэтгэснээр цаашид дулааны боловсруулалт хийх температурыг олж тогтооход нэн чухал. 1-р зурагт АХД-ийн термогравиметрийн шинжилгээгээр

100°C температурт жингийн хэмжээ 106 % болж өссөн нь агаарт байгаа чийг, хүчилтөрөгч, карбонаттай шүлтийн болон газрын шүлтийн металлууд агуулсан алюмосиликатуудын гадаргуу исэлдэх, мөн шингээлтийн процесс явагдсантай холбоотой байж болно. Дээж хоорондоо тодорхой өөрчлөлт

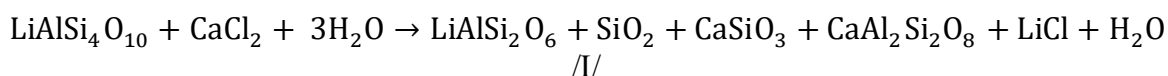
өгөөгүй тул анхдагч хүдрийн шинжилгээний үр дүнг 3-р зурагт харуулав.



2-р зураг. АХД-ийн TGA, DTA.

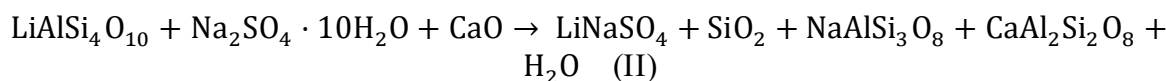
Шинжилгээний дүнгээс харахад шатаалтын өмнөх хольцын TGA-DTA-ын шинжилгээнээс 100-830°C дахь жингийн хорогдол 20.7%, 830-900°C-д 2.91% байна. АХД-ийн хувьд 800° - 900°C температурт шилэн фаз үүсэх процесс явагдаж байгаа тул дулааны боловсруулалтыг 800°C хийх нь зохимжтой гэж үзлээ. Литийн дээжийг дулааны боловсруулалтад оруулахад химийн нарийн төвөгтэй урвалын механизмаар явдаг бөгөөд энэхүү судалгаагаар бид $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + CaO , NaCl +

$\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ болон CaO + CaCO_3 зэрэг урвалжуудын оролцоотойгоор литийг уусамтгай нэгдэлд шилжүүлэх боломжийг судалсан. Дулааны боловсруулалтын процессын үед сонгож авсан хольц урвалжуудтай петалитын эрдэс дараах хялбаршуулсан ерөнхий урвалын тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ. Үүнд: Петалит ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$)-ийн хүдэр, баяжмалтай $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ -ийг хамт дулааны боловсруулалт хийхэд дараах урвал явагдана [6].



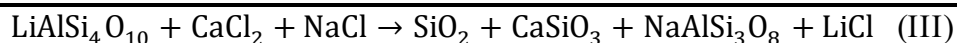
Урвалын дүнд АХД, ЛБД-д байгаа лити усанд уусдаг литийн хлор үүсгэх бөгөөд зарим хэсэг нь сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ үүсгэдэг байна. Харин

петалитын хүдэр, баяжмалтай $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ болон CaO -ийг хольж шатаахад усанд уусдаг давс болох LiNaSO_4 -ийг үүсгэж дараах урвал явагдана [7].



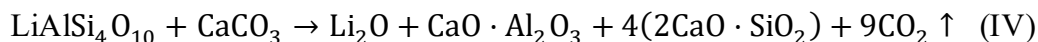
Петалитын хүдэр, баяжмалтай CaCl_2 болон NaCl хольж шатаахад шууд LiCl үүсэх тул хялбар усанд уусаж усан

уусмалд орж ирнэ. Урвалын тэгшитгэлийг дараах байдлаар илэрхийлж болно [8].



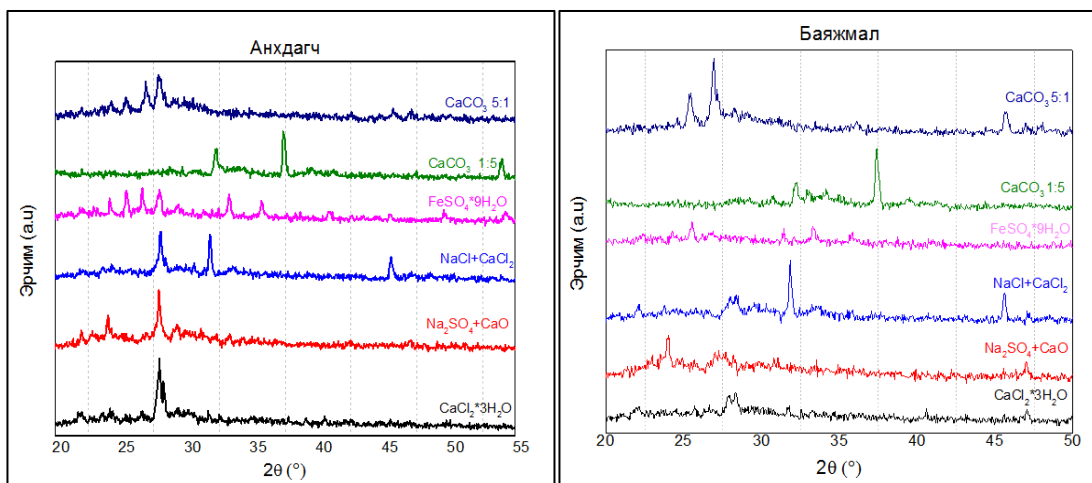
Петалитын хүдэртэй CaCO_3 -тай хамт шатаавал дараах урвал явагдаж

литийн оксид үүсгэж усанд уусан LiOH -ийг үүсгэдэг байна [8].



Судалгааны ажлын хүрээнд дулааны боловсруулалтыг массын харьцаа, температур, хугацаа, уусгагч, шатаалтын хатуу хольц ба усны харьцаа, уусгалтын температур, уусгалтын хугацаа зэргийг тодорхойлж 1-р хүснэгтэд үзүүлэв. Литийн хүдэр баяжмалын хольцтой дулааны

боловсруулалт хийсэн дээжийн XRD-ийн (3-р зураг) шинжилгээнээс үзэхэд хольцтой дээжүүд анхдагч хүдрийн дээжтэй харьцуулахад альбитийн эрчим хүчтэй буурсан нь ажиглагдаж байна. 200, 210, 211, 220, 221 пикүүдэд петалитын пикүүд нь сподумений пик рүү шилжиж буйг харж болно.



3-р зураг. АХД, ЛБД болон шатаалтын хольцод хийсэн XRD шинжилгээ

Дулаан боловсруулалтын нөлөө нь хүдэр болон баяжмалд аморф хувирлыг үзүүлсэн.

АХД, ЛБД-ийн NaCl болон $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ -ийн 1:0.6:0.4 харьцаатай хольц, 800°C -д 2 цаг дулааны боловсруулалт явуулахад литийн усан уусмал руу шилжих хэмжээ нь хамгийн өндөр үр дүнг үзүүлсэн (4-р зурагт). Кальцийн карбонатын 5:1 байх үед литийн агуулга болон металл авалт өндөр боловч нэмэлт бодисын хэмжээ их (2-р хүснэгт) байгаа нь эдийн засгийн хувьд ашиггүй байна. Мөн АХД-ний хувьд тус хольцтой дулааны боловсруулалт хийх нь ашиггүй байгаа нь мөн 2-р хүснэгтээс харж болно. Судалгааны дүнгээс харахад литийн

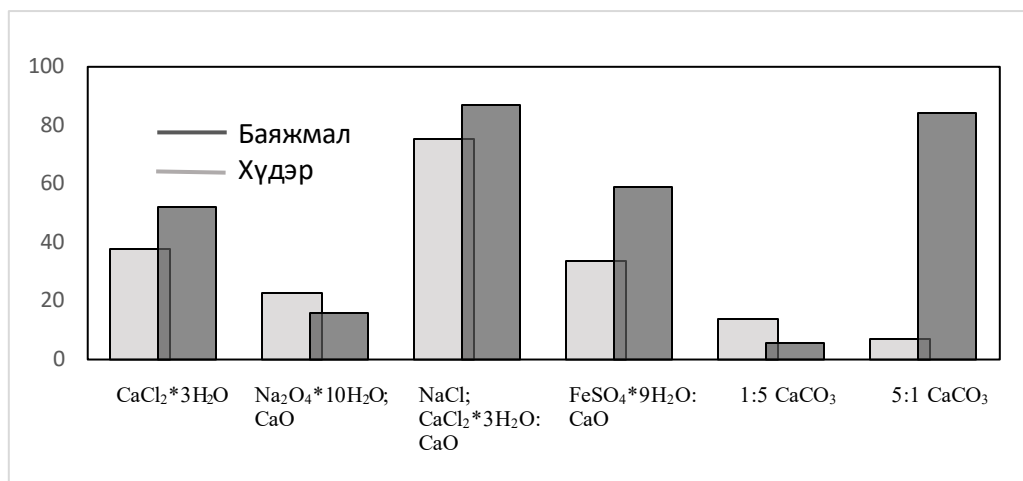
хүдэр болон баяжмалын дулааны боловсруулалт, уусгалтын явцад хэрэглэсэн урвалжийн төрөл, харьцаа нь уусмал дахь литийн агууламжид хүчтэй нөлөөлж байна. Тухайлбал, “ $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ” холимгийг ашиглахад хоёуланд нь хамгийн өндөр үр дүн ажиглагдсан нь литийн уусамтгай нэгдэл үүсэх процессыг идэвхжүүлж буйтай холбоотой юм. Үүний зэрэгцээ “ CaCO_3 ”-ыг их хэмжээгээр хэрэглэх нь анхдагч хүдэрт үр дүн багатай гарсан бол баяжмалд арай өндөр үзүүлэлт өгсөн нь хүдэр баяжуулах шат литийн агуулга болон уусгалтыг сайжруулдгийг харуулж байна.

“ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{CaO}$ ” болон
“ $\text{FeSO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O} + \text{CaO}$ ” системүүдэд
литийн уусалт илэрхий ажиглагдсан ч
хлорид суурьтай урвалжийнхтай
харьцуулахад доогуур байгаа нь химийн

урвалын нөхцөл, фазын шилжилт, үүсэх
нэгдлүүдийн тогтвортой байдал зэрэг
олон хүчин зүйлээс хамаарч буйг
илтгэнэ.

2-р хүснэгт. Литийн хүдэр, баяжмалын дулааны боловсруулалт, уусгалтын үр

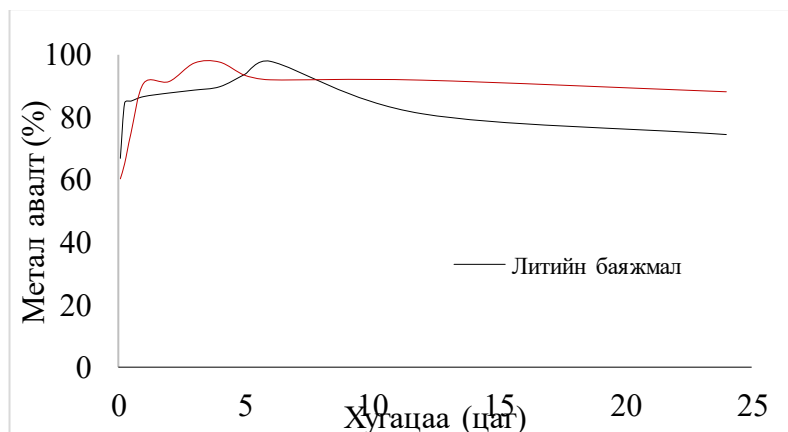
№	Li-ийн эрдэс	Шатаах процесс				Уусгалт				Анхдагч хүдэр баяжмалын агуулга%	Уусма л дахь Li-ийн агуулг а
		Нэмэлт холигч бодис	Массы н харьцаа	Темп ⁰ С	Хугаца а	Уусгаг ч	Шатаалты н хатуу хольц ба H_2O -ны харьцаа	Темп ⁰ С	Уусгалты н хугацаа		
1	Анхдагч	$\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	2:1	800 °C	2 цаг	H_2O	1:7.5	60°C	60 мин	1.16	0.44
		$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}; \text{CaO}$	1:0.5:0.1	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.16	0.26
		$\text{NaCl}; \text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	1:0.6:0.4	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.16	0.87
		$\text{FeSO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}; \text{CaO}$	1:0.5:0.1	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.16	0.39
		CaCO_3	5:1	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.16	0.16
		CaCO_3	1:5	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.16	0.08
2	Баяжмал	$\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	2:01	800 °C	2 цаг	H_2O	1:7.5	60°C	60 мин	1.87	0.97
		$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}; \text{CaO}$	1:0.5:0.1	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.87	0.30
		$\text{NaCl}; \text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	1:0.6:0.4	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.87	1.62
		$\text{FeSO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}; \text{CaO}$	1:0.5:0.1	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.87	1.10
		CaCO_3	1:05	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.87	0.11
		CaCO_3	5:01	800 °C	2 цаг	H_2O		60°C	60 мин	1.87	1.58



4-р зураг. Уусмал дахь литийн металл авалт

Усанд уусгахад хатуу шингэний харьцаа 1:7.5, уусгалтын температур 60°C , уусгалтын хугацаа 60 минут, соронзон хутгагчийн хутгалтын хурд 320 эрг/мин байхад хүдэр, баяжмал дахь литийн металл авалт хамгийн их буюу АХД 75%, ЛБД 86.63% -ийг уусмалд шилжүүлсэн байна. Энэхүү хамгийн их уусалт явагдаж байгаа 2 дээжийг хугацаанаас хамааруулан уусалтын кинетикийг судалсан ба уусгалтын температур 60°C , соронзон хутгуурын

эргэлтийн хурдыг 320 эрг/мин, хатуу шингэний харьцаа 1:7.5-д хугацаанаас хамаарсан туршилт явуулахад литийн хүдэр эхний уусах хугацаа 5 минутад 60 орчим% байсан ба 3-5 цаг уусгахад уусгалт хамгийн дээд цэгтээ хүрч лити усан уусмалдаа харилцан 97.36%, 97.66% хувь болон орж ирсэн байна (5-р зураг).



5-р зураг. Литийн хүдэр, баяжмалын NaCl болон $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ -тай хольж 800°C -д шатаасан хольцын уусгалтын хугацаанаас хамаарсан дүн.

ДҮГНЭЛТ

- Петалит агуулсан литийн хүдэр, баяжмалыг 800°C -д сонгосон урвалжуудтай хольж шатааснаар литийг усанд уусамтгай нэгдэлд шилжүүлэх үр дүнтэй нөхцөл бүрдэх нь тогтоогдсон.

- Температурыг 800°C -аас дээшлүүлэхэд шилэн фаз үүсэж уусгалтын үр ашиг буурдаг тул 800°C -г хамгийн тохиромжтой температур гэж үзсэн.

- “ $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ” холимог

ашиглахад анхдагч хүдэр болон баяжмалын литийн уусалт хамгийн өндөр (97.36%) гарсан нь эдгээр давснууд литийн хлорид үүсгэн уусалт сайжруулдагтай холбоотой.

• “CaCO₃”-ыг их хэмжээгээр хэрэглэх нь баяжмалд тодорхой үр дүн үзүүлсэн ч эдийн засгийн хувьд үр ашиг багатай; “Na₂SO₄·10H₂O + CaO” ба “FeSO₄·9H₂O + CaO” системүүд литийн уусалтыг нэмэгдүүлж байгаа ч хлорид суурьтай урвалжуудтай харьцуулахад доогуур байна.

• Уусгалтын тохиромжтой нөхцөл нь 60 °C температур, хатуу-шингэний харьцаа 1:7.5, хутгалтын эрчим 320 эрг/мин, 3 цагийн хугацаа байсан ба энэ үед литийн уусалт 97%-иас дээш хүрсэн.

• Энэхүү аргачлал нь литийн хүдэр, баяжмалыг үр ашигтай боловсруулах, аж үйлдвэрийн түвшинд ашиглах боломжийг нэмэгдүүлж, эдийн засаг болон байгаль орчинд ээлтэй технологи хөгжүүлэхэд чухал ач холбогдолтойг баталгаажуулсан.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

1. Ebersperger, A., Maxwell, P., Moscoso, C. (2005). The lithium industry: Its recent evolution and future prospects. *Resources Policy* 30 (3), 218–231.
2. Wallace, R.B. (2012). Lithium, a strategic element for energy in the world market.
3. He, M., Jin, X., Zhang, X., Duan, X., Zhang, P., Teng, L., ... & Liu, W. (2023). Combined pyro-hydrometallurgical technology for recovering valuable metal elements from spent lithium-ion batteries: a review of recent developments. *Green Chemistry*.
4. Kesler, S.E., Gruber, P.W., Medina, P.A., Keoleian, G.A., Everson, M.P., and Wallington, T.J. (2012). Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews* 48, 55–69.
5. Yuan, B., Wang, J., Cai, W., Yang, Y., Yi, M., & Xiang, L. (2017). Effects of temperature on conversion of Li₂CO₃ to LiOH in Ca(OH)₂ suspension. *Particuology*, 34, 97-102.
6. Galli, D.E., Humana, D., de las Mercedes Otaiza, M., Cachagua, C.R., Santillan, R.E. (2014). Process for recovering lithium from a brine. Google Patents.
7. Setoudeh, N., Nosrati, A., & Welham, N. J. (2020). Lithium extraction from mechanically activated of petalite-Na₂SO₄ mixtures after isothermal heating. *Minerals Engineering*, 151, 106294.
8. Yelatontsev, D., & Mukhachev, A. (2021). Processing of lithium ores: Industrial technologies and case studies—A review. *Hydrometallurgy*, 201, 105578.
9. 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.
10. Wietelmann, Ulrich & Bauer, Richard. 2000. Lithium and Lithium Compounds. 10.1002/14356007.a15-393.
11. Монгол Улсын ашигт малтмалын баялаг, нөөцийн ангиллыг тухайн төрлийн ашигт малтмалд хэрэглэх нь Аргачлалын зөвлөмж (лити, цези) УБ-2021.
12. K. Evans. 2014. Lithium, in: G. Gunn (Ed.) *Critical Metals Handbook*, John Wiley & Sons, Oxford, pp. 230–260.
13. 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.
14. Potts, Philip. 1987. *A Handbook of Silicate Rock Analysis*. 10.1007/978-1-4615-3270-5_2.

15. Grigor'evich, Revenko. 2022. Book review for a book by M. Haschke, J. Flock, M. Haller "Laboratory Applications of X-ray.
16. 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>.
17. Borg, Gregor. 2024. Fundamentals of Lithium Enrichment - from Geological processes to Ore Mineral Concentrates. *World of Mining - Surface and Underground*. 76. 2-14.

Thermal processing of lithium ore and concentrate: Possibility to form soluble lithium compounds

D.Khasbaatar¹, J.Erdenesuvd², B.Orgilbayar², Ts.Zagarsüsem², B.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. A study was conducted on thermal processing of lithium ore and concentrate containing petalite to convert lithium minerals into a soluble form. The thermal treatment involved the use of reagents such as $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{CaO}$; $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeSO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; and $\text{CaO} + \text{CaCO}_3$. When samples were thermally treated at temperatures above 800°C , a glassy phase was formed due to the high content of silicon oxide, which complicated the leaching process.

Therefore, thermal treatment was conducted at 800°C followed by leaching experiments. Various tests were carried out based on mass ratio, temperature, roasting time, and types of reagents. After thermal processing, the samples were subjected to leaching under different parameters such as solid-to-liquid ratio, leaching temperature, and duration to determine optimal conditions.

When the lithium ore and concentrate were mixed with NaCl and $\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ in a 1:1:5 ratio and roasted at 800°C for 2 hours, the subsequent leaching in aqueous solution at 60°C , with a stirring speed of 320 rpm, solid-to-liquid ratio of 1:7.5, and duration of 3 hours, resulted in 97.36% of the petalite ore dissolving into the aqueous phase—thus identified as the optimal condition.

Keywords: concentrate, mixture, reagent, thermal treatment, leaching

© 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/>