

**Гүйцэтгэгчид**

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1. Төслийн удирдагч                           | Доктор (PhD) П.Алтанцог         |
| 2. Төслийн удирдагч                           | Доктор (PhD) А.Хаумдас          |
| 3. Эрдэм шинжилгээний ажилтан                 | Магистр Э.Нямдаваа              |
| 4. Эрдэм шинжилгээний ажилтан                 | Магистр Т.Баяраа                |
| 5. Эрдэм шинжилгээний ажилтан                 | Магитрант М.Лувсанпэрэнлэй      |
| 6. ХХТХ –ийн Эрдэм шинжилгээний ахлах ажилтан | Доктор(PhD), профессор Г.Бурмаа |
| 7. Эрдэм шинжилгээний ахлах ажилтан           | Доктор (PhD) Г.Сэвжидсүрэн      |
| 8. Эрдэм шинжилгээний тэргүүлэх ажилтан       | Академич Г.Чадраабал            |
| 9. Эрдэм шинжилгээний ахлах ажилтан           | Доктор (PhD) Л.Лхагважав        |
| 10. Эрдэм шинжилгээний ажилтан                | Магистрант Н.Цэрэн              |

## НЭГ. ГАЗРЫН ХОВОР ЭЛЕМЕНТИЙН БАЙГАЛЬД ОРШИХ ХЭЛБЭР, ТАРХАЦ ТЭДГЭЭРИЙН ШИНЖ ЧАНАР

ГХЭ нь үелэх системийн 14 -н элементийг өөртөө багтаах бөгөөд байгальд цөм хамт байдаг, хими, физик шинж чанар нь хоорондоо нэн төстэй элементүүд юм. Тэдгээрийн исэлдэлтийн хэм 3 байх ба гагцхүү церий, празеодим, тербийн исэлдэлтийн хэм 4, самарий, европий, иттрийн исэлдэлтийн хэм 2 байна. Газрын ховор элементүүд химийн элементийн үелэх системийн 57 -гоос 71 дэх нүдэнд байрлана. Үүнд лантан (La)-57, церий (Ce)-58, празеодим (Pr)-59, неодим (Nd)-60, прометий (Pm)-61, самарий (Sm)-62, европий (Eu)-63, гадолиний (Gd) - 64, тербий (Tb)-65, диспрозий (Dy)-66, хольмий (Ho)-67, эрбий (Er)-68, тулий (Tm)-69, иттербий (Yb)-70, лютеций (Lu)-71, Газрын ховор элементийн бүлэгт тэдгээртэй адил төсөөтэй шинж чанартай иттрий (Y)-39, скандий (Sc)-21 хамаарагдана.

Газрын ховор элементэд багтах бүх элементүүдээс ганцхан прометий байгальд дангаараа байдаггүй учир түүнийг цацраг идэвхит изотопоос нь гарган авдаг.

### *Хүснэгт 1.1. Газрын ховор элементүүдийн нээгдсэн он дараалал*

Газрын ховор элемент	Химийн томъёо	Нээгдсэн он
Скандий	Sc	1879
Иттрий	Y	1794
Лантан	La	1839
Церий	Ce	1803
Празеодим	Pr	1885
Неодим	Nd	1885
Прометрий	Pm	1945
Самарий	Sm	1879
Европий	Eu	1901
Гадолиний	Gd	1886
Тербий	Tb	1843
Диспрозий	Dy	1886
Хольмий	Ho	1879
Эрбий	Er	1843
Тулий	Tm	1879
Иттербий	Yb	1878
Лютеций	Lu	1907

ГХЭ -үүд металл чанартай, байгальд ихэвчлэн хүчилтөрөгчтэй нэгдсэн ислийн байдалтай хөрс, ус, ургамал, эрдэс чулуулаг, агаар мандал болон хүн амьтны организмд өчүүхэн хэмжээтэй үлэмж сарнисан байдаг.

Тэдгээрийн дотроос магмын чулуулаг, боржин, сиенитэд элбэг тохиолддог. Одоогоор мэдэгдэж байгаа ГХЭ -ийн 150 гаруй эрдэс байдаг.

Байгалийн эрдэс чулуулаг дахь ГХЭ -ийн агуулга харилцан адилгүй байдаг нь зөвхөн геохимийн орчноос шалтгаалаад зогсохгүй эдгээрийн элементүүдтэй нэгдэх химийн шинж чанараас ихээхэн хамаардаг. Геохимийн судалгаанаас үзэхэд магмын төрлийн хүчилтөрөгчөөр баялаг хэт шүлтлэг чулуулагт церийн бүлгийн элементүүд болох (цери, празеодим, неодим, самари, европи), хүчиллэг боржинд иттрийн (гадолиний-терби, диспрози, гольми, эрби, тули, иттерби) бүлгийн элементүүд тус тус зонхилдог байна.

Газрын ховор элементүүд нь ихэвчлэн 3 валенттай, зарим нь 2, 4 валенттай байх бөгөөд аливаа эрдэс чулуулагт кальци, төмөр, ниобий, тантал, титан, цахиур, торий, уран, фтор, нүүрстөрөгч, фосфор зэрэг элементүүдтэй хамт тохиолддог. Шүлтлэг чулуулагт дээрхи элементүүдээс гадна натри, стронцитой хамт байна.

Европи нь 2 валенттай ихэвчлэн кали, стронци ихтэй (сфен, жонш) эрдэст нилээд хуримтдагддаг.

Газрын ховор элемент ионхоо радиусаар натри, кали, кальци, стронцитой ойролцоо учир байгальд тэдгээр элементүүдтэй хамт тохиолдох ба кальциар баялаг эрдэст (нефелин, сиенит) газрын ховор элементийн хуримтлагдах нь их байна.

Газрын ховор элементүүд нь байгальд сарнимал байдалтай оршдог тул ховор элемент гэж нэрлэгдэх болсон юм. Газрын ховор элементийн нийлбэр, дэлхийн дундаж кларкт 0.016% буюу цайраас 3 дахин, кобальтаас 5, хар тугалгаас 10, молибденээс 50, мөнгөнөөс 1600, алтнаас 30000 дахин тус тус их юм. Тунамал чулуулагт газрын ховор элементийн ислийн нийлбэр 0.015% орчим байх ба элементүүдийн агуулга дараахь байдлаар өсдөг.



Газрын ховор элементийг янз бүрийн хэмжээгээр агуулдаг эрдэс чулуулгийн тоо одоогоор 260 гаруй байна. Одоогоор судлагдаад байгаа эрдэс чулуулагийн 90 гаруй нь ГХЭ -ийг 5 - 8 % хүртэл нилээд хэмжээгээр агуулсан байдаг ба үүний 3 нь фторт нэгдэл, 40 гаруй нь ислүүд, 6 нь фосфат, 13 нь карбонат, 30 гаруй нь силикат болон арсенит, вольфрамат нэгдлүүд байна.

Хүснэгт 1.2. ГХЭ -ийн зарим эрдсүүд, тэдгээр дэх агуулга

Эрдсийн Нэр		Эрдсийн томъёо	ГХЭ-ийн агуулга /%/		
			Церийн бүлгийн	Иттрийн бүлгийн	ΣTR
Лопарит Эвксенит Самарскит Фергюсонит	исэл	(Na,Ca,Ce) <sub>2</sub> (Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (Y,Ca,Ce,U,Th) (Nb,Ta,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (Y,Er) <sub>2</sub> (Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (Y,Ce, Fe) (Nb,Ta,Ti)O <sub>4</sub>	31 - 33 0.4 - 2.4 0.9 - 4.2 0.2-4.0	24-28 8-17 28-40	25-30 10-19 31-14
Паризит Бастнезит	карбонат	(Ca,La) <sub>2</sub> Ca(CO <sub>3</sub> )F <sub>2</sub> (Ce,La)(CO <sub>3</sub> )F	55-61 73-76	0.0-7.8	5.5-6.1
Ксенотим Монацит Апатит	Фосфат	YPO <sub>4</sub> (Ce,La,Y,Th)PO <sub>4</sub> Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)	0.9-2.1 52-75 0.7-4.9	57-68 1.1-5.0	57-68 56-75
Иттриалит Гадолинит Ортит	силикат	(Y,Th,U,Fe) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> Y,Fe,Be <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (Ca,Ce) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (O,OH)	3.3-8.2 5-32 11.0-22.5	43-50 22-50 0.1-6.1	49-51 11-24

Хүснэгт 1.3. Газрын ховор элементийн кларк

Газрын ховор элемент	Жингийн	Харьцангуй агуулга, % (ГХЭ -ийн нийлбэрийг 100 % гэж авав)
лантан	4x10 <sup>-3</sup>	11.4
церий	4x10 <sup>-3</sup>	28.6
празеодим	7x10 <sup>-4</sup>	4.4
неодим	3x10 <sup>-3</sup>	15.9
прометий	-	-
самарий	4x10 <sup>-4</sup>	4.4
европий ,	~10 <sup>-4</sup>	0.8
гадолиний	7x10 <sup>-4</sup>	6.4
тербий	~10 <sup>-4</sup>	1.0
диспрозий	~4x10 <sup>-4</sup>	2.9
хольмий	?	0.8 (?)
эрбий	2x10 <sup>-4</sup>	2.6
тулий	1x10 <sup>-4</sup>	0.5
иттербий	2x10 <sup>-4</sup>	1.9
лютеций	2x10 <sup>-4</sup>	0.6
иттрий	2x10 <sup>-3</sup>	17.8

Энэ үзүүлэлтээс харахад газрын ховор элемент нь газрын царцдаст ховорт тооцогддоггүй зарим элементээс ч их агуулагдаж байгаа нь харагдаж байна. Жишээ нь: хамгийн бага тархацтай элемент болох тулий ( $1 \times 10^{-4}$ ), лютеций ( $2 \times 10^{-4}$ ) -н кларк нь сурьма, висмут болон мөнгөн усны кларкаас ч их байна. Иймээс газрын царцдас дахь газрын ховор элементийг “ховор элемент”-тэй харьцуулахад түүнээс “ховор” биш болох нь харагдана.

И.Я.Гадолин доорхи элементүүдийг агуулсан Цери ихтэй эрдсээс лантан, неодим, празеодим, европи, самари, диспрози, гадолини; Иттри ихтэйгээс эрби, терби, гольми, тули, лютеци зэрэг физик химийн шинжээрээ маш төстэй 14 элементийг шинээр нээжээ. Энэ бүлэгт багтах элемент Прометийг цөмийн нийлэгжүүлэлтээр гаргасан юм.

ГХЭ нь боржин, нефелин-сиент зэрэг гүнийн чулуулагт нилээд хэмжээгээр тааралддаг. Дэлхийд ГХЭ агуулсан эрдсүүдийг:

- Монацит, ксеотим, бастнезитын
- Апапатит, сфен цирконы гэж 2 үндсэн бүлэгт хуваадаг.

Магмын талсжилтын үед шүлтлэг орчинд үүссэн нефелин-сиенитэд ихэвчлэн церийн бүлгийн элементүүд хуримтлагдсан байх бөгөөд магмын талсжилтын илүү хүчлэг орчинд иттрийн бүлгийн элементүүд давамгайлж байна.

Газрын ховор элементүүд нь дэгдэмхий шинж чанартай металлууд, ердийн температурт агаарын хүчилтөрөгчтэй нэгдэж ислүүд үүсгэхээс гадна металлоид-уудтай (фосфор, хүхэр зэрэг) урвалд хялбар ордог. Газрын ховор элементийн давсны усан уусмал ба ислүүдийн өнгийг хүснэгт 1.4 -д үзүүлэв.

***Хүснэгт 1.4.** Газрын ховор элементийн давсны усан уусмал ба ислүүдийн өнгө*

Газрын ховор элементийн нэр	Ислийн өнгө	Уусмалын өнгө
Лантан	Цагаан	өнгөгүй
церий, 3 валенттай	Цагаан	өнгөгүй
церий, 4 валенттай	Шар	шар
празеодим	Хар	ногоон
неодим	Цайвар хөх ягаан	нил ягаавтар
самарий	Цагаан	цайвар шар
европий ,	цагаан	цайвар ягаан
гадолиний	цагаан	өнгөгүй
тербий	цагаан	өнгөгүй

диспрозий	шаравтар	Цайвар шар ногоон
хольмий	цагаан	Цайвар шар
эрбий	ягаан	ягаан
тулий	цагаан	Цайвар ногоон
иттербий	цагаан	өнгөгүй
лютеций	цагаан	өнгөгүй

Газрын царцдас дахь газрын ховор элементийн тархацыг бүлэглэлээр нь харьцуулан үзвээс иттрийн бүлэг элементээс церийн бүлгийн газрын ховор элементийн тархац илүүтэй байна. Газрын царцдаст агуулагдаж буй газрын ховор элементийн жингийн 80 % илүүг церийн бүлгийн элемент эзэлж байна.

ГХЭ -ийн физик үзүүлэлтүүд:

Энд ГХЭ –үүдийн зарим шинж чанарыг авч үзье.

- Элементүүдийн дэс дугаар ихсэх тусам хоёр элементийн хоорондох ионы радиус нь  $0.4A^0$ -аар богиноссоор лантанаас лютеций хүртэл нийтдээ  $0.23 A^0$ -аар багасна.
- Бүх элементүүд ердийн нөхцөлд гурван валенттай байх боловч зарим үед цери, терби, празеодим дөрөв, самари, европи, иттерби хоёр валенттай байна. Дэс дугаарын зүүнээс баруун тийш дэгдэмхий чанар нь багасна.



- Тэдгээр элементүүдийн ионы радиус ойролцоо, валентийн тоо адилхан байгаа нь физик - химийн чанараар тун төстэй болохыг батлахаас гадна байгальд ямагт хамт байдгийг гэрчилж байна.
- Газрын ховор элементүүд нь онцгой изоморф шинжтэй. Элементүүдийн молекул дахь атомын тоо адил байгаа нь талжилт, зохион байгуулалтаар ойролцоо, химийн урвалд оролцох идэвхээр төсөөтэй бөгөөд электронууд нь цөмөө тойрч шигүү нягтарсан, зөвхөн зургаадугаар үедээ 1 - 2 электронтой байна. Химийн урвалын үед гаднах үеийн электронууд урвалд хялбархан ордог. Газрын ховор элементийн 4f орбиталь том катионуудтай учир эрлийзжих (гибридзацид орох) магадлал муутай. Иймээс олон төрлийн комплекс үүсгэж чадахгүй, хэрэв комплекс үүсгэвэл том катионд татагдаж ихэвчлэн хелат хэлбэрийн комплекс үүсгэнэ.
- Лантанаас лютеций хүртэл суурилаг чанар нь буурна. Хоёр валенттай элементүүд Eu - Sm илүү суурилаг чанартай тул усан исэл үүсгэхдээ хялбар юм.
- Газрын ховор элементийг дотор нь церийн бүлэг, иттрийн бүлэг гэж хоёр ангилна. Церийн бүлэгт лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, иттрийн бүлэгт

европий, гадолиний, тербий, диспрозий, хольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций багтана. Зарим тохиолдолд церийн бүлгийн элементийг лантаны (La, Ce, Pr), неодимийн (Nd, Sm, Eu, Gd) гэж ангилна.

- Газрын ховор элементийн өөр ангилал ч байна. Жишээ нь церийн (лантанаас самарий хүртэл), тербийн (европий, гадалиний, тербий), иттрийн (диспрозийгоос лютеций, иттрий ороод) гэж гурав ангилсан байдаг.
- Элемент бүрийн изотоп дахь нейтроны агуулга өөр өөр байдагтай адил газрын ховор элементийн изотопын тоо харилцан адилгүй байна. Ихэнхи тохиолдолд тогтвортой изотоп бүхий газрын ховор элементийг хүснэгт 1.5-д (тогтворгүй изотопыг \*-ээр тэмдэглэв) үзүүлэв.

*Хүснэгт 1.5. Газрын ховор элементийн изотоп*

Атомын жин	Газрын ховор элементийн нэр	Изотопууд
138.92	лантан	138*, 139
140.13	церий	136, 138, 140, 142,
140.92	празеодим	141*
144.92	неодим	142, 143, 144, 145*,146, 148, 150
150.43	самарий	144, 147*,148, 149, 150, 152, 154,
152.00	европий ,	151,153
156.90	гадолиний	152, 154*, 155, 156, 157, 158, 160
159.20.	тербий	159
162.46	диспрозий	156,158,160, 161, 162, 163, 164*
164.94	Гольмий	165
167.2	эрбий	162, 164, 166, 167, 168, 170
169.40	тулий	169
173.04	иттербий	168, 170, 171, 172, 173, 174, 176*
174.99	лютеций	175, 176

- Газрын ховор элементийн физик химийн шинж чанар янз бүрийн нарийвчлалтайгаар судлагджээ. Тэдгээрийн зарим нь, ялангуяа иттрийн бүлгийн газрын ховор элементийн шинж чанар хязгаарлагдмал судлагдсан байгаа нь хэрэглээнээсээ хамаарсан гэж үзэх үндэслэлтэй байна. Энэ нь эдгээр элементийг зэргэлдээ орших бусад элементийн хольцгүй, цэврээр ялгаж авахад бэрхшээлтэй байдагтай холбоотой юм.
- Лантаны бүлгийн бүх элементүүдийн электронууд нь дотор талын давхаргуудад байрлах ба гаднах давхаргадаа тус бүр хоёр электроной байна. Иймээс химийн урвалд гадна талын давхаргын хоёр электроноос гадна түүний дотор талын давхаргын электрон оролцдог гэж үздэг. Энэ нь газрын ховор элементүүд исэлдэлтийн ижил

хэмтэй (3 валенттай) -г заахаас гадна химийн ижил шинж чанараар хувирах онцлогтойг харуулна.

- Газрын ховор элементийн өөр нэг онцлог тал нь изоморф чанар юм. Изоморфизмийн тухай ойлголтыг анх 1920 онд Митчерлих химид оруулж ирсэн ба мөн чанар нь Д.И.Менделеевийн тодорхойлсноор талст хэлбэр нь ижил буюу төсөөтэй, шинж чанараараа ойролцоо, аль нэгэн бодисын молекул дахь ижил тооны атом химийн урвалд оролцдогт оршино. Газрын ховор элементийн энэхүү туйлын ижил төсөөтэй талууд нь тэдгээрийг цэврээр гарган авахад учрах бэрхшээл болдог бөгөөд энэ нь изоморфизмоор тайлбарлагдана.
- Газрын ховор элементийн өөр нэг ижил төсөөтэй үзүүлэлт бол тэдгээрийн шинж чанарыг илтгэх ионы радиус юм. (Хүснэгт 1.6.)

*Хүснэгт 1.6. Лантаны бүлгийн элементийн ионы радиус*

Газрын ховор элементийн Нэр	Элементийн дэс дугаар	Ионы радиус А
Лантан	57	1.22
церий	58	1.18.
празеодим	59	1.16
неодим	60	1.15
прометий	61	-
самарий	62	1.13
европий ,	63	1.13
гадолиний	64	1.11
тербий	65	1.09
диспрозий	66	1.07
хольмий	67	1.05
эрбий	68	1.04
тулий	69	1.04
иттербий	70	1.00
лютеций	71	0.99
иттрий	39	1.06



Хүснэгт 1.7. ГХЭ ийн зарим шинж чанар

Газрын ховор элемент-ийн нэр	Кристалл бүтэц	Хайлах температур p °C	Буцлах температур p °C	Хувийн Жин	Нейтроны цөм барих хөндлөн огтлолын талбай, барн.
лантан	гексагональ	920±5	4515	6.162	8.9
церий	талдаа төвтэй куб	804±5	3600	6.768	0.70
празеодим	гексагональ	935±5	3450	6.769	11.2
неодим	адил	1024±5	3300	7.007	43.2
самарий	ромбоэдрик	1052±5	1900	7.540	6500.0
европий	төвдөө төвтэй	900	1700	5.166	4500.0
гадолиний	гексагональ	1350±5	3000	7.868	44000.0
тербий	адил	1400-1500	2800	8.253	44.0
диспрозий	адил	1475-1500	2600	8.565	?
хольмий	адил	1475-1525	2700	8.799	64.3
эрбий	адил	1475-1525	2600	9.059	166.0
тулий	адил	1500-1550	2400	9.318	188.0
иттербий	төвдөө	824±5	1800	6.959	90.0
лютеций	төвтэй куб	1650-1750	3500	9.849	?
иттрий	гексагональ	1475-1525	3500	4.840	80

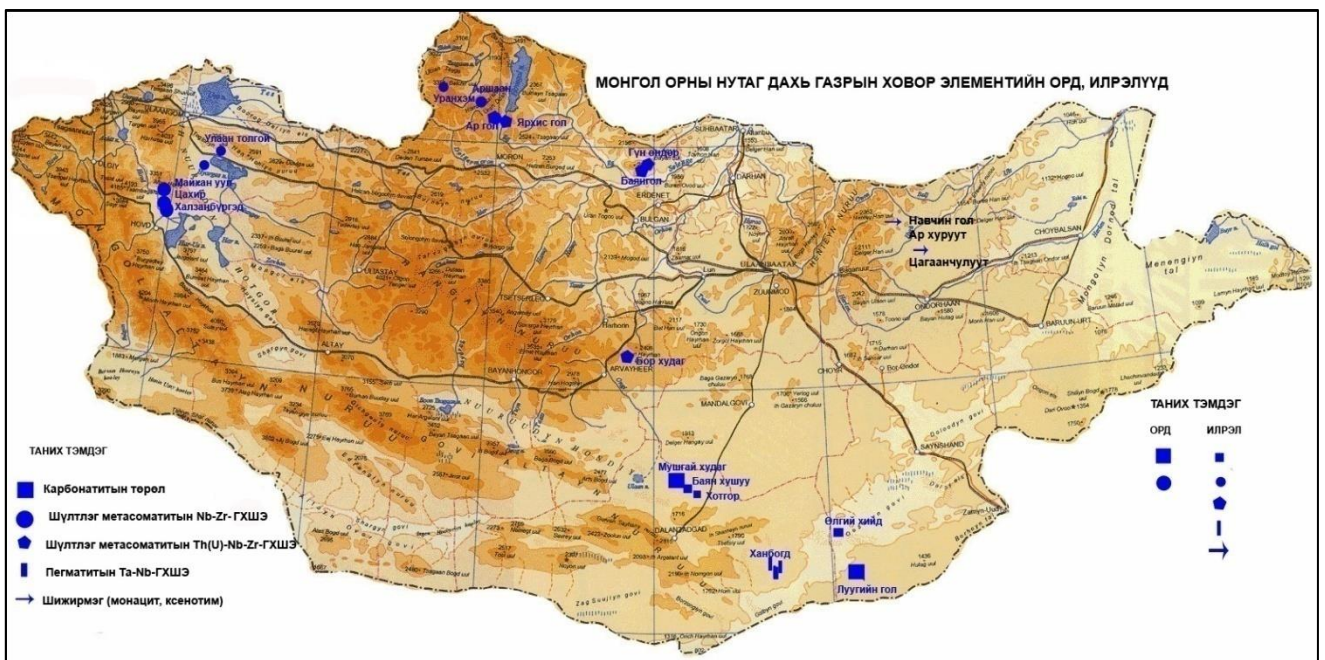
Энэ хүснэгтээс харахад газрын ховор элементийн дэс дугаар ихсэхэд ионы радиусын хэмжээ буурч байгаа ба лантанаас лютеций хүртэл радиусын уртын зөрүү дөнгөж 0,23 А хүрч байгаа бөгөөд элементээс элементэд (лантанаас церий) шилжихэд 0,04 А –аас хэтрэхгүй байна.

Газрын ховор элементүүд агаарт исэлдэж тогтвортой исэл, гидроокись үүсгэн ус ялгаруулах ба тэдгээрийг улайсган исэл гарган авна.

Түүнчлэн газрын ховор элементийн оксалат, карбонат, нитрат нэгдлүүд зэрэг зарим давсуудыг нь улайсгахад мөн исэл үүснэ. Газрын ховор элементийн хувьд исэл үүсэлтийн дулаан асар их байна. Жишээ нь: 1 г атом хүчилтөрөгчийн лантаны исэл үүсэлтийн дулаан ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) 152,3 ккал байна. Энэ шинж чанар нь газрын ховор элементийг исэлдүүлэгч болгон ашиглах нөхцлийг буй болгодог.

## ХОЁР. МОНГОЛ ОРНЫ ГХЭ –ИЙН ТАРХАЦ, СУДАЛГАА

Геологийн судалгаагаар манай оронд одоогийн байдлаар газрын ховор элементийн 40 гаруй илрэл тогтоогдсноос Ховд аймгийн Мянгад сумын нутагт орших Ар хүрэн уул (Халзан бүрэгтэй), Өмнөговь аймгийн Ханхонгор сумын нутаг дахь Мушгиа худаг, Дорноговь аймгийн Хатанбулаг сумын нутгийн Төгрөг (Луугийн гол) болон Баянхошуу, Жанчивлан, Бага газар зэрэгт шүлтлэг боржин, карбонатитын чулуулагт ГХЭ -ийн илрэлүүд олдож, химийн урдчилсан шинжилгээгээр элементүүдийн агуулга дэлхийн дундаж кларкийн хэмжээнд буюу зарим эрдсүүдэд кларкаас их хэмжээтэй байгаа нь тогтоогджээ. Зурагт 1 –д Монгол орны нутаг дахь ГХЭ -ийн орд илэрцийг үзүүлэв.



Зураг 2.1. Монгол орны нутаг дахь ГХЭ ийн орд илэрц [Г.Бурмаа]

### 2.1. Мушгай худаг, Лугийн голын дээжүүдэд газрын ховор элементийн агуулгыг ICP болон рентгенфлуоресценцийн спектрометрийн аргуудаар харьцуулан тодорхойлсон судалгааны дүн (Ховор шорооны элемент агуулсан эрдэс чулуулгийн физик хүчний судалгаа, УБ, 2010)

Лугийн голын карбонатитын хүдрийн биет нь найрлага зүйн хувьд хэд хэдэн онцлогтой бөгөөд цахиур, калий, фтор, нүүрсхүчлийн хий ихтэй, фосфор бага, хлор бараг байхгүй. Фтор карбонатит 0.01 - 0.056% хүртэл торий агуулдаг учир цацраг идэвхит чанартай. Хүдрийн биет дэх газрын ховор элементийн агуулга харилцан адилгүй бөгөөд фтор карбонатитын судалд 1.67 - 5.8% байхад зарим дээжинд 4 - 11.2% хүртэл илэрдэг.

Мушгай худгийн бүс нутгийн апатит, магнетитийн хүдрийн биет нь газрын ховор элементийн агуулга, гарал үүсэл, эрдсийн бүрэлдэхүүн нөөц, баялагийн хувьд дэлхийд

томоохон ордод тооцогддог. Мушгай худгийн орд газарт газрын ховор элемент агуулсан хүдрийн гол биет нь шүлтийн комплекс, карбонатит, апатит бөгөөд газрын ховор элементээс гадна стронци, хар тугалга эрдсүүдэд нилээд хэмжээтэй байдаг байна.

ГХЭ агуулсан хүдрийн биетийн дээжинд ГХЭ -үүдийн нийлбэрийг фотометрийн болон жингийн, нэг бүрчлэн элементүүдийг хроматографийн аргуудаар тодорхойлж ирсэн байна.

### **Туришилтийн арга зүй**

Геологийн дээжийн хувьд дотоод найрлага онц өөрчлөгдөөгүй байхад гадаад стандарттай харьцуулан дээжинд байгаа сонирхсон элемент тус бүрийн хэмжигдсэн эрчим болон концентрацийн хамаарал нь дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэж болохыг урьдчилан

$$\text{тогтоосон байдаг. } C_i = C_{st} \cdot \frac{C_i}{I_{st}} \cdot \frac{R_{st}}{R_i} \quad R_i = \frac{I_k^i}{I_{nk}^i}$$

$C_i$  – дээжийн  $i$  – элементийн концентраци;  $I_i$ -дээжийн  $i$ -элементийн спектрийн шугамын эрчим;  $I_k$ -дээжээс харимхай сарнисан цацрагийн эрчим;  $I_{nk}$ -дээжээс харимхай биш сарнисан цацрагийн эрчим;

### **Хэмжилтийн үр дүн**

Зохих шаардлагыг хангахуйц (0.07мкм) нунтагласан дээжүүдийг 5мкм зузаан майлер ёроолтой 5мм өндөр, 30мм диаметр бүхий тусгай саванд хийж жигд дарж нягтруулан хэмжилтэнд бэлтгэсэн.

Дээжийг  $\text{Am}^{241}$  изотопон үүсгүүрээс гарах 59.6 кэВ энергитэй фотоноор өдөөж, дээжийн элементүүдээс гарах тодорхойлогч рентген цацрагийн эрчмийг 5.9 кэВ энергитэй Mn Ka шугамын хувьд 185 эВ энергийн ялгах чадвартай хагас дамжуулагч (Si(Li)) Pnp Top детектор, 1024 сувагт анализатор бүхий АНУ-ын ORTEC фермийн рентгенфлуоресценцийн спектрометрээр хэмжив. Газрын ховор элементүүдийн спектрийг AXIL программаар боловсруулж элементийн агуулгыг TRM-2, TRKL гэсэн стандартуудыг ашиглан тодорхойлов.

Хэмжилтийн үнэмшлийг шалгахын тулд нэг стандартаар нөгөө стандартыг тодорхойлж харьцуулсан үр дүнгүүд, рентгенфлуоресценцийн спектрометрээр Лугийн гол, Мушгай худгийн дээжүүдийг хэмжиж гаргасан үр дүнг Геологийн төв лабораторийн индукцийн холбоотой плазмын аргаар (ICP) хэмжсэн үр дүнтэй харьцуулж хүснэгт 2.1. ба 2.2. -д үзүүлэв.

Хүснэгт 2.1. Мушгай худаг

Элемент (%)	TRM-2		TRLK		МУИС ЦСТ РФА	ГТЛ ИСР
	Атгестат утга	РФА-ийн утга	Атгестат утга	РФА-ийн утга		
К	0.91±0.08	-	1.55±0.05	0.54±0.66	5.33	4.72
Ca	25.51±0.5	18.68±0.96	32.68±0.4	44.62±2.3	-	10.1
Mn	0.14±0.01	0.27±0.09	1.67±0.05	0.88±0.29	0.08±0.03	0.07
Fe	13.6±0.29	14.84±0.37	5.71±0.17	5.23±0.13	2.75±0.07	2.67
Zn	0.06±0.004	0.05±0.01	0.05	0.06±0.02	0.006±0.008	0.015
Sr	2.24±0.095	2.08±0.03	0.49±0.04	0.53±0.01	0.069±0.003	0.064
V ppm	959±40	763.77±64.9	167±20	209.7±17.82	59±6	58.96
Pb	0.11±0.014	0.1±0.001	0.16±0.01	0.18±0.03	0.012±0.004	0.0128
Th ppm	217.6±40.4	46.07±27.71	946±51	4467.7±2686	-	32

Хүснэгт 2.2. Лугийн гол

Элемент (%)	TRM-2		TRLK		МУИС ЦСТ РФА	ГТЛ ИСР
	Атгестат утга	РФА-ийн утга	Атгестат утга	РФА-ийн утга		
La	0.93±0.1	1.65	2.11±0.11	2.41±0.21	1.90±0.12	1.82
Ce	2.9±0.12	2.54±0.31	2.76±0.05	3.15±0.35	2.91±0.22	2.87
Pr	0.28±0.03	0.25±0.02	0.23±0.03	0.26±0.02	0.18±0.05	0.178
Nd	0.89±0.08	0.77±0.06	0.65±0.03	0.75±0.06	0.56±0.02	0.51
Sm ppm	0.09±0.03	-	539±62	-	-	498

## 2.2. Газрын ховор элементийн баяжмал ба цэвэр исэл гаргах боломж

Геологийн судалгаагаар манай оронд газрын ховор элементийн 40 гаруй илрэл тогтоогдсноос Мушгай худагийн бүс нутгийн апатит-магнетитийн хүдрийн биет нь ГХЭ -ийн агуулга, гарал үүсэл, эрдэсийн бүрэлдэхүүн нөөц, баялгийн хувьд дэлхийд томоохон ордод тооцогддог. Маунтин Пасс (АНУ), Баян Овоо (Хятад) -ийн ордуудтай адил төстэй юм. Мушгай худгийн хүдрийн зөвхөн дөрвөн биет дээр хийсэн өрөмдлөгийн дээжлэлтээс үзэхэд карбонатитын хүдэрт ГХЭ -ийн нийлмэл исэл ( $TR_2O_3$ ) 2.0 - 9.0%, апатитын хүдэрт 4.0 - 14.0% агуулгатай бөгөөд 150 метрийн гүний өрмийн урьдчилсан тооцоогоор 6 сая тонн нөөц тогтоогджээ.

Лугийн голын илрэл дээр Монгол-Полшийн геологийн хамтарсан экспедици судалгаа хийж, карбонатитын хүдэрт ГХЭ -ийн нийлбэр исэл ( $TR_2O_3$ ) 1.5 - 1.7% агуулгатай, 80 метрийн гүнд 200 мян.тонн нөөцтэй гэж тооцоолжээ.

Эдгээр газар нь байрлалын хувьд Таван толгойн коксжих нүүрс, Цагаан суврагын зэс-молибдений ордын ойролцоо (100 - 150 км-т) орших учир Өмнөговь - Дорноговийн бүс нутагт үйлдвэрлэлийн цогцолбор байгуулах бүрэн боломжтой юм.

ГХЭ -ийг олборлох, ашиглах үйлдвэрлэл нь өвөрмөц онцлогтой бөгөөд зэс, төмөр, хөнгөнцагаан шиг хэдэн зуун мянган тонноор баяжмал гаргахгүй, тэдгээрийн баяжмалаас элементүүдийн ислийг цэврээр ялгах нарийн технологийг бүтээснээр өөрийн өртгийг хямдруулж бага бүтээгдэхүүнээс өндөр ашиг олно. Иймд ГХЭ -ийн олборлолтыг нүсэр том уулын үйлдвэрийн аргаар бус хэсэгчилсэн бага оврын үйлдвэрийн аргаар жилд 5000-10000 тонн баяжмал гаргах хүчин чадалтай төхөөрөмжөөр тооцоолох нь байгаль орчинд ээлтэй болон эдийн засгийн хувьд илүү ашигтай юм. Хагас үйлдвэрийн аргаар 100 тонн 60% -ийн баяжмал бэлтгэж 1 - 2 ислийг цэврээр ялгахад зардлаа 10 дахин нөхөх бүтээмжтэй байна.

Хаягдалгүй технологи бүтээснээр дээрх хүдрээс целестин, баритыг дайвар бүтээгдэхүүнээр олборлож хими - полимерийн (фторпласт, аминопласт, фенопласт) үйлдвэрт дүүргэгч түүхий эд болгох боломжтой юм.

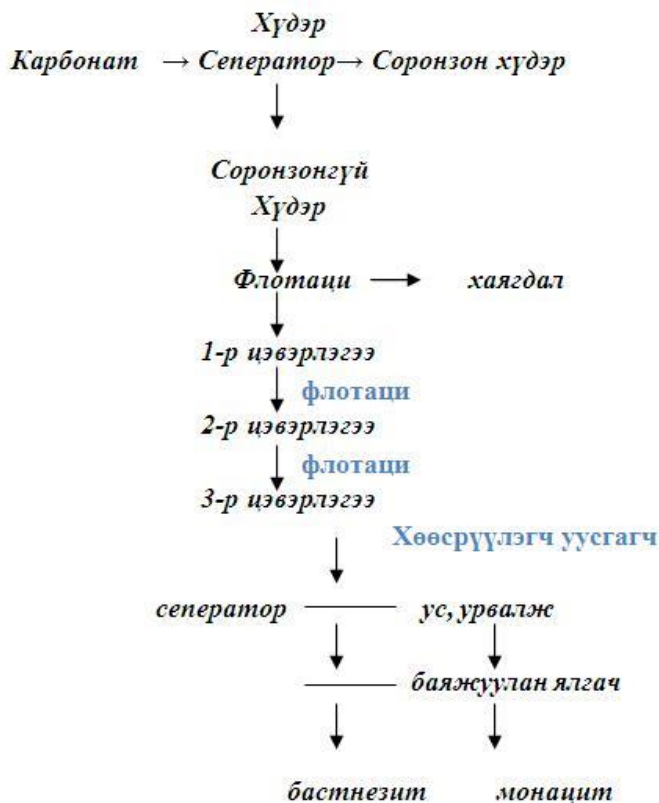
Лугийн голын карбонатитын хүдрийн биетээс ГХЭ -ийн баяжмал гаргах ба лабораторийн технологи туршилтаар исэлдсэн хүдрээс 23% -ийн  $TR_2O_3$  агуулсан 65% -ийн баяжмал, үндсэн хүдрээс 20% -ийн  $TR_2O_3$  агуулсан 70% -ийн металл авалттай баяжмал авч болохыг тогтоосон юм.

Лабораторийн туршилтын дүнгээс үзэхэд Мушгай худаг, Лугийн голын хүдрийн биетээс 68 – 70 % болон 58 – 90 %-ийн ГХЭ -ийн баяжмал гаргах боломжтой. Баяжмалыг химийн аргаар ялган церийн бүлгийн (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu г.м) элементүүдийг 80 - 90% цэвэршүүлэх боломжтой юм.

ГХЭ -ийн бэлэн, хагас бэлэн бүтээгдэхүүнийг дэлхийн зах зээлд гаргах ба эх орны электрон техникийн үйлдвэрт тогтмол соронзон, хагас дамжуулагч, люминофор лазер, люминесценцийн материал үйлдвэрлэх түүхий эдийн нөөц болгон ашиглах боломжтой болох юм. Гол эрдэст монацит, ксенитет, бастнезит, ортит, апатит, боржин, сфен орно. Эдгээрээс үйлдвэрийн зориулалтаар монацит, бастнезит, апатитын эрдсүүдийг ашиглаж байна.

Дараах схемд ГХЭ ийн баяжуулалтыг үзүүлэв.

ГХЭ баяжуулах бүдүүвч



1950 он хүртэл Энэтхэг, Бразиль, Австрали улсууд ГХЭ -ийн түүхий эдийг дэлхийн зах зээлд нийлүүлж байсан юм. Үйлдвэрт ихэвчлэн монацит, бастнезит, лопаритын эрдсийг ашигладаг. Сүүлийн үед фосфорит, хайлуур жоншийг ашиглах явцад ГХЭ -ийг дайвар бүтээгдэхүүний байдлаар олборлож байна. Манай орон хайлуур жоншийг экспортод нийлүүлэх талаар дэлхийд дээгүүр байр эзэлдэг бөгөөд нөөц баялагийн хувьд ч нилээд их билээ.

ГХЭ -үүд нь физик - химийн шинжээрээ өөр хоорондоо төстэйгээс гадна аливаа биетэд өчүүхэн хэмжээтэй хольц хэлбэрээр байдаг тул тэдгээрийг илрүүлэн таних, цэврээр гаргаж авахад тун бэрхшээлтэй нөр их аналитик ажиллагаа шаарддаг билээ. Химиказын шинжилгээгээр эрдсүүдийг уусгах химийн урвалжуудыг сонгож задаргааны явцад баяжмалд саад бологч үндсэн элементүүдийг салгах аргазүйг сонгон, ГХЭ -ийг ялгах, олон дамжлагуудыг хөнгөвчлөх туршилтууд хийгдэж байна.

Мушгай худаг, Лугийн голын районд ГХЭ агуулсан хүдэр чулуулагийн орд илрэлүүдийн байршил, зүй тогтолыг тодорхойлж, тэдгээр дэх элементүүдийн агуулга,



нөөцийг тогтоож ашиглах боломжийн талаар эдийн засгийн үнэлгээ хийгджээ. Орд илрэлүүдэд хүдрийн биетийн геохими, минералог, Петрографи физик-химийн нарийвчилсан судалгаа хийж хүдэр чулуулагийн бодисын болон химийн найрлагыг тодорхойлж байна.

Физик-химийн шинжилгээгээр карбонатит, апатитын хүдэр чулуулаг, технологийн баяжмал дээжүүдэд ГХЭ -ийг нийлбэрээр болон нэг бүрчлэн салгаж тодорхойлох аргазүйг шинээр сонгон боловсруулж багаж төхөөрөмж, эм урвалжийг бүрдүүлж стандарт, эталонууд бэлтгэн эрдэм шинжилгээ, үйлдвэрлэлийн ажил явуулах боломжтой болсон юм.

ГХЭ -үүдийг ялгах, тэдгээрийг баяжуулах лабораторийн туршилт хийж, чулуулгийн төрөл бүтцээр ангилан боловсруулалт хийгдэж байна.

### **ГХЭ агуулсан эрдэс чулуулагийг баяжуулан боловсруулах технологи**

ГХЭ -ийн олборлолтыг нүсэр том уулын үйлдвэрийн аргаар бус хэсэгчилсэн бага оврын үйлдвэрийн аргар жилд 5000-10000 тонн баяжмал гаргах хүчин чадалтай төхөөрөмжөөр тооцоолох нь байгаль орчинд ээлтэй бөгөөд эдийн засгийн хувьд илүү ашигтай юм.

Хагас үйлдвэрийн аргаар 100 тонн 60 хувийн баяжмал бэлтгэж 1 - 2 ислийг цэврээр ялгахад зардлаа 10 дахин нөхөх бүтээмжтэй байна.

ГХЭ -ийн баяжмал бэлтгэхийн зэрэгцээ тэдгээртэй хамт байгаа үнэт, ховор металл цирконий, ниоби, тантал, лити зэрэг олон элементүүдийг технологийн боловсруулалтын явцад ялган авах боломжтой юм.

- Лопаритын хүдрийн баяжуулалт
- Монацит боловсруулалт
- Бастнезит боловсруулалт
- Синхизитийн баяжуулах ба боловсруулах
- Апатитын боловсруулалт
- Иттрисинхизитийн боловсруулалт

ыг авч үзье.

#### **1. Лопаритын хүдрийн баяжуулалт**

Лопарит нь титан, ниоби, тантал ба ГХЭ -үүдийг агуулсан комплекс эрдэс юм. Энэ нь титано-ниобийн натри, кальци ба ГХЭ буюу  $(\text{Ng Ca LN})_2(\text{Ti Nb})_2\text{O}_6$  гэсэн ерөнхий томьёотой, эрдсийн найрлага нь харьцангуй бага хэлбэлздэг ба 29-34 хувийн церийн бүлгийн ГХЭ -ийг агуулдаг.

Хүдэр дэх лопаритын эрдсийн агуулга 3 - 6 хувийн хооронд хэлбэлздэг. Лопаритын хүдрийн лопарит ба нефелин, хээрийн жонш, цахиурын нягтууд харилцан адилгүй

байдаг дээр үндэслэгдэн гравитацийн аргаар голчлон баяжуулдаг. Баяжуулахдаа эхлээд 2 шатаар бутлах ба нойтон нунтагласны дараа гидравлик ангилагч руу шилжүүлнэ. Том хэсэг нь эргэлддэг сэлүүр бүхий суулгагч машинд нунтаглагдан баяжигдах ба жижиг хэсэг нь баяжуулах шүүр лүү өгөгдөнө. Гарган авсан эгиринлопаритийн нэгдмэл бүхий гравитацийн баяжмалыг усгүйжүүлж хатаах ба эгирнээс салгахын тулд цахилгаан статик сепараци (лопарит нь хөдөлгөөнт фракцид ялгарна), дараа нь цахилгаан соронзон сепараци (лопарит нь соронзон биш фракцид ордгоороо эгирнээс ялгаатай) оруулдаг.

Энэ аргаар 75 - 80 хувь бүхий лопаритийн баяжмалаас 93 - 96 хувийн агуулгатай баяжмалыг гаргаж авдаг байна.

Энэ баяжмал нь 0,11 % -оос ихгүй фосфор, 2,5 % -оос ихгүй төмрийн исэл, 2,9 % -оос ихгүй цахиурын исэл, 0,1 % -оос ихгүй чийгийг агуулна.

## **2. Монацитын боловсруулалт**

Монацит нь ГХЭ ба торийн фосфат юм. Энэ нь эдгээр элементийг үйлдвэрлэх үйлдвэрийн үндсэн түүхий эд болдог.

Үндсэн нөөц нь энэтхэг, бразил, австрали, малайз зэрэг далайгаар хүрээлэгдсэн орнууд болон далайн эрэг хавийн элсэрхэг хурдаст бөөгнөрсөн байдаг.

Монацит нь ерөнхийдөө торийн ислийг 50 - 70 хувь ураны ислийг 0,1 - 0,4 хувь агуулдаг.

Монацитын баяжмалын найрлага орон болгонд харилцан адилгүй байдаг. Энэ нь эрдэс дэх ГХЭ -үүдийн ихэнхи хувь нь церийн бүлгийн элементүүд байна. Иттрийн бүлгийн элементүүдийн концентраци нь 1 хувиас хэтэрдэггүй ба зарим тохиолдолд 5-6 хувь хүрдэг.

Байгальд монацит нь ильменит, рутил, циркон, гранат, магнетит, турмалинтай хамт тохиолддог. Техникийн хэрэглэж болохуйц уурхай нь 0,1 - 5 хувийн монацит агуулсан байна. Үргэлжлүүлэн баяжуулах арга нь харьцангуй хямдхан үр ашигтай арга юм. Учир нь баяжуулагдах хүдэр нь байгальд нунтаглагдсан хэлбэртэй байх ба эрдэс хольцуудыг агуулаагүй байдаг. Монацит агуулсан эрдсийг хайрга чулуунуудаас ялгасны дараа тундасжуулагч машинд эсвэл эргэлддэг сеператорт өгдөг.

Гарган авсан баяжмал нь 60 хувь хүртэл монацитыг агуулдаг ба үүнийг цаашид цахилгаан соронзон ба цахилгаан статик аргаар баяжуулдаг.

Эцэст нь хийгээр баяжуулах ширээн дээр баяжуулах шаардлагатай ингэж гарган авсан баяжмал нь 98 хувийн монацитыг агуулдаг.



### 3. Баснезитын боловсруулалт

Баснезит нь ГХЭ -ийн церийн дэд бүлэг ба европийг гарган авах үндсэн түүхий эд юм. Баснезитын үйлдвэрлэлийн орд нь АНУ, Хятад, Швед, Бурунди болон бусад орнуудад байдаг. Нөөц ихтэй ордын тоонд АНУ -ын Калифорны мужийн Мйунти - Пас, Хятадын Бугатын орд зэрэг орно. Энэ ордын илэрцэд барит, кальцит, хайлуур жонш, кварциттай нэгдсэн 10 хувийн бастнезит агуулагддаг.

Бастнезитын баяжмалыг 10 хувийн давсны хүчлээр үйлчлэхэд кальцит агуулсан чулуулгийн хэсэг нь уусах ба өтгөрүүлж шүүсний дараа ГХЭ -ийн нийлбэр ислүүдийн 72 хувь хүртэл агуулсан баяжмалыг гарган авдаг. Энэ бүтээгдэхүүнийг хатаах ба шатаахад түүнд агуулагдах жонш зайлуулагдаж 90 хувийн баяжмал болно.

Энэ бүтээгдэхүүний гарц нь 75 хувиас хэтрэхгүй байна. ГХЭ-ын нунтаглагдсан хүдрийг 800-900 градусын үед шатаахад баснезитын задрал явагдана.

### 4. Иттросихинзитын боловсруулалт

Иттросихинзит нь ураны хүдрийн дайвар бүтээгдэхүүн юм. Энэ нь иттрийн бүлгийн ГХЭ -үүдийг гарган авах гол түүхий эдийн нэг юм. Энэ нь ховор тохиолддог ГХЭ -ийн фторкарбонатын  $(Y,CE)FCO_3 \cdot CaCO_3$  эрдэс байх ба дараах химийн найрлагатай байна.

$Ln_2O_3$  : 45 - 50%,  $CO_2$  : 23 - 24%, Ca: 10 - 11%, F: 6 - 7%

ГХЭ -ийн нийлбэр дэх  $Y_2O_3$  -ийн агуулга 30 - 35%. ГХЭ -ийн хүдэр нь иттросинхизит, фторид, карбонатын кальций болон бусад ислүүдийг нийлмэлээр агуулсан байдаг. Үндсэн флотацийг ИМ-50 урвалжийн (гадаргуугийн идэвхит бодис) тусламжтайгаар сод ба шингэний шил оролцуулан явуулж ажлын баяжмалыг гарган авдаг. Баяжуулалтын технологийн схемд нунтаглах, сульфидуудаас нь ялгахын тулд 0,075 мм -н ангилалд 100 хувь байхаар нутаглах, сульфидуудаас нь ялгахын тулд /пирит, галиент гэх мэт/ хөвүүлэн баялжуулах зэрэг дамжлагууд орно.

ГХЭ -ийн флотацыг явуулахад маш хүнд байдаг. Энэ нь бастнезит, флюорит, кальцит ба бусад эрдсүүдийн хөвөх чанарууд нь ойролцоо байдагтай холбоотой.

Энэ нь иттросинхизитэд мөн адилаар хамаардаг. Үүнээс хамаарч эдний хуваагдлын үр дүн нь флотаци явуулахад ашигласан гадаргуугаас идэвхит бодисын /ПАВ/ сонголтоос шалтгаална. Флотаци явуулахад ПАВ болон олейны хүчлийг хэрэглэдэг ба сүүлийн үед нилээд үр ашигтай бодис болох ИМ-50 урвалжийг хэрэглэх болсон.

## 5. Синхизитийн хүдрийг баяжуулах ба боловсруулах

Синхизит нь фторт карбонатын төрлийн эрдэс ба түүний ерөнхий томъёо  $(CaCeLa\dots)(CO_3)_2F$  байна.

Энэ эрдэс нь манай орны Лугийн голын ордод үйлдвэрлэлийн ач холбогдол бүхий агуулгатайгаар илэрсэн. Энэ ордын хүдэр дэх эрдсийн найрлага (% оор) кальцит 43.61, сфе 0.09, рутил 0.01, апатит 0.07, нефелин 1.35, цахиур 1.18 агуулагдаж байна.

N эдгээр ГХЭ -ийн нийлбэр эрдсийг агуулж буй гол эрдэс нь синхизит, бага хэмжээгээр монацит, паризит байна. Синхизит нь исэлдсэн, исэлдээгүй гэсэн 2 төрлөөр тохиолддог.

Исэлдээгүй эрдэс нь ногоон шар өнгөтэй. Энэ нь хүдэрт бага хэмжээгээр агуулагддаг. N исэлдсэн хэсэг нь хүрвэтэр шар өнгөтэй бастнезиттэй төстэй байдаг. Энэ нь Лугийн голын хүдэрт давамгайлдаг ба кальцийн ислийн агууламж өндөр байна.

### Дүгнэлт

1. Лугийн гол, Мушгай худгийн дээжүүдэд газрын ховор элементийн агуулгыг TRM-2, TRKL гэсэн стандартуудыг ашиглан, рентгенфлуоресценцийн спектрометр, плазмын масс - спектроскопын аргуудаар (ICP) харьцуулан тодорхойлсон байна. Рентгенфлуоресценцийн спектрометр, плазмын масс - спектроскопын аргуудын хийсэн шинжилгээний дүнгүүд тохирсон байна.
2. Рентгенфлуоресценцийн спектрометрийн шинжилгээгээр Лугийн голын карбонатитын хүдэр дэх ГХЭ -ийн агуулгыг ГХЭ -ийн стандарт дээжүүдтэй харьцуулан тодорхойлж La, Ce, Nd, Pr гэсэн элементүүд зонхилох хувийг эзэлдэг болохыг тогтоосон.
3. Мушгай худгийн дээжинд Y, Th нь бага агуулгатай харин Fe, Ca их байгааг тогтоов.
4. Рентгенфлуоресценцийн спектрометрийн арга, мөн плазмын масс - спектроскопын (ICP) багажаар тодорхойлох нь ГХЭ агуулсан хүдрийн биетийн химийн найрлагыг цаашид ордын нөөцийг нарийвчлан тогтоох, улмаар ГХЭ -ийг баяжуулах, ялгаж ашиглахад чухал үндэслэл болно.

## ГУРАВ. ГАЗРЫН ХОВОР ЭЛЕМЕНТИЙН ЗАХ ЗЭЭЛИЙН ОРЧИН, ХЭРЭГЛЭЭ

1794 оноос 1947 он хүртэлх 150 иад жилийн хугацаанд нээгдсэн газрын ховор элементүүдийг хөнгөн (La, Ce, Pr, Nd, Pm), дунд зэргийн (Sm, Eu), хүнд (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y) гэж 3 ангилж үздэг.

1890 онд Италийн эрдэмтэн П.Уэлсбек газрын ховор элементийг практикт хэрэглэх үндсийг тавьжээ. Ингэснээр шинжлэх ухаан техникийн хэмээн алдаршсан ХХ зуунд олборлолт хэрэгцээ нь хэлбэрэлтгүй өссөн ба тэдгээрийг дангаар буюу исэл байдлаар гарган авч исэл ба химийн нэгдэл, хайлш, хольц хэлбрээр үйлдвэрлэлд өргөн хэрэглэх боллоо. Техник технологийн хөгжлийг дагаад газрын ховор элементийн эрэлт хэрэгцээ их өссөн. Өнөөдөр газрын ховор элементийн оролцоогүйгээр өндөр технологи, шинэ материал байхгүй гэхэд хилсдэхээргүй, газрын ховор элементийг хэрэглэдэггүй техникийн салбар ч үгүй болжээ. Газрын ховор элементүүд бүрэн дүүрэн судлагдаж дуусаагүй ч газрын ховор металл бүр тэдгээрийг өөр юугаар ч орлуулшгүй өөрийн гэсэн өвөрмөц техникийн шинж чанартай болох нь эдүгээ хатуу тогтоогдсон гэж үзэж болно.

ГХЭ -ийг исэл байлаар хэрэглэж буй зарим салбарыг жишээ болгон авч үзвэл:

- *Лантаны исэл* ( $\text{La}_2\text{O}_3$ )-ыг гэрэл зургийн болон дүрс бичлэгийн аппарат, хувилагч, оптикийн багаж хэрэгсэл, сайн чанарын керамик, гэрэл гаргагч нунтаг, дэлгэцийн өнгө сарниулагч, автомашины утаа дамжуулагч, батерей зай, устөрөгч хадгалагч, бүх төрлийн соронзонт материал, багаж хэрэгсэлүүд үйлдвэрлэхэд хэрэглэдэг байхад
- *Церийн исэл* ( $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ) –ийг автомашин болон барилгын шил, дүрс бичлэгийн аппарат, дэлгэцний өнгө сарниулагч, төрөл бүрийн шилэн эдлэл, оптикийн багаж, хэрэгсэл, төрөл бүрийн дэлгэцний өнгө сарниулагчийн шил, зургийн аппарат, цахилгаан хэрэгсэл, гэрлийн чийдэн, өнгөт зурагт болон компьютер, эмнэлгийн аппарат хэрэгсэл хийхэд
- *Празеодимын исэл* ( $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ) Өргөн хэрэгцээний шаазан керамик, хэвлэгч машин, дуу хөгжмийн төхөөрөмж, соронзонт материал, персонал компьютер, эмнэлгийн багаж хэрэгсэлд ашиглагдаж байна.
- *Неодимын исэл* ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ) соронзон, уян, хатуу диск, хэвлэгч машин, дуу хөгжмийн төхөөрөмж, соронзонт хөдөлгүүр, автомашины үйлдвэрлэл, мэдээлэл, эмнэлгийн багаж хэрэгсэл, тогтмол соронзонт материал, шилэн эдлэлийн үйлдвэрлэлд
- *Самарийн исэл* ( $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ) электроник, мэдээлэл, эмнэлгийн тоног төхөөрөмж, агаарын тээвэр, автомашины үйлдвэрлэл, байгаль хамгаалал, газар зүй, палеонтологи, цахилгаан хэрэгсэл, хөгжмийн тоног төхөөрөмж хийхэд

- *Европийн исэл* ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) Төрөл бүрийн дэлгэцийн өнгө сарниулагч, шөнийн гэрэлтүүлэг, хувилагч машины оптик хэрэгслэл, биологи судлалын багаж аппарат, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид
- *Гадолиний исэл* ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) Электроник, мэдээлэл зүй, агааржуулагч шүүгч, эмнэлгийн багаж хэрэгсэл, хөргөх төхөөрөмж, биологи судлалын багаж аппарат, химийн аж үйлдвэрийн машин тоноглолд хэрэглэгдэж байна.
- *Тербийн исэл* ( $\text{Tb}_2\text{O}_3$ ) Өнгөт зурагт болон компьютерийн хувьсмал дэлгэц, үндсэн гурван өнгийн гэрэл, шөнийн гэрэлтүүлэг, эмнэлгийн багаж хэрэгсэл, биологи судлалын аппарат, экологи, газар зүй, палеонтологи, цахилгаан хэрэгсэл, дуу хөгжмийн төхөөрөмжийн үйлдвэрлэлд
- *Диспрозийн исэл* ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) Соронзонт материал, автомашины үйлдвэр, эмнэлгийн багаж хэрэгсэл, биологийн үйлдвэрлэл, экологи, газар зүй, палеонтологи, цахилгаан хэрэгсэл, дуу хөгжмийн төхөөрөмж, цацраг идэвхи судлалд, гэрэл судлалд
- *Хольмийн исэл* ( $\text{Ho}_2\text{O}_3$ ) Авто зам, барилга, кино үйлдвэр, эмнэлгийн багаж, мэдээллийн багаж хэрэгсэл, биологийн аж үйлдвэр зэрэгт
- *Эрбийн исэл* ( $\text{Er}_2\text{O}_3$ ) Мэс заслын хутга, эмнэлгийн багаж хэрэгсэл, цахилгаан үүсгэгч, газар тариалангийн үйлдвэрлэл, нүдний шил болон бусад зориулалтын шил, шилэн эдлэл, мэдээллийн хэрэгсэл, биологийн үйлдвэрлэлд
- *Тулийн исэл* ( $\text{Tm}_2\text{O}_3$ ) Экологи, газар зүй, палентологи, цахилгаан хэрэгсэл, дуу хөгжмийн тоног төхөөрөмж, цацраг идэвхи судлал, цацраг эмчилгээ, эмнэлгийн хэрэгсэл болох хавдар судлалын багаж хэрэгсэл, катализатор гэрэл судлал, биологийн үйлдвэрлэлд,
- *Интербийн исэл* ( $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ) Цахилгаан хувиргагч, түүний сэлбэг, автомашины үйлдвэрлэл, эрдэс судлалын багаж хэрэгсэл, оптик, мөнгөн усны хайлш, биологийн аж үйлдвэр, персонал компьютерт
- *Лютецийн исэл* ( $\text{Lu}_2\text{O}_3$ ) Лютеций-танталын холимог, идэвхжүүлэгч бодисууд, хурц гэрэлтүүлэгч, мэдээллийн соронзонт багаж, эмнэлгийн багаж хэрэгсэлд
- *Иттерийн исэл* ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) Өнгөт зурагт болон персонал компьютер, өндөр даралтын мөнгөн усны гэрэл хувиргагч, агаарын тээвэр, автомашины үйлдвэрлэл, шаазан үйлдвэрлэл, оптик, мэдээллийн техник технологид
- *Скандийн исэл* ( $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ) Аж үйлдвэр, тогтмол соронзонт материал, цахилгаан үүсгэгч, төмөрлөгийн үйлдвэр, цацраг гэрэл судлалд

- *Прометийн исэл* ( $Pm_2O_3$ ) Гэрлийн цацраг судлал, батерей, төрөл бүрийн бичил зайн үйлдвэрлэлд өргөн хэрэглэгдэж байна.

Газрын ховор элементийн хэргэлгээг үйлдвэр, аж ахуйн салбарын чиглэлээр тодорхойлбол Хөдөө аж ахуйд: Биологийн катализ болох байгалийн эрдэс чулуулагт орших газрын ховор элементийн агуулгатай урвалж бодис, нэмэлт материалыг (хойшид газрын ховор материал - ГХМ гэнэ) хөдөө аж ахуйн бүтээгдэхүүний үйлдвэрлэлд өргөн нэвтрүүлж байна. Олон төрлийн энзимээр идэвхижүүлсэн нэмэлт бүтээгдэхүүн нь өвчин эсэргүүцэх чадварыг нэмэгдүүлнэ. ГХМ нь хүн амьтны бие эрхтэн доторхи эрдэс бодисын тархалтанд эерэгээр нөлөөлж, байгалийн гаралтай ашигтай элементүүдийн шингээлтийг сайжруулдаг байна. ГХМ агуулсан хүнсний нэмэлт бүтээгдэхүүн нь бодисын солилцоог эрчимжүүлсэнээр хоол боловсруулалтыг түргэтгэж, улмаар өвчин эсэргүүцэх дархлааг сайжруулан, наслалтыг уртасгадаг.

Гахайн аж ахуйд ГХМ хэрэглэснээр амьтны жинг 10 - 20% нэмэгдүүлж байна. Мөн хонины аж ахуйд хэрэглэн ноосны ширхгийн бүтэц, бат бөх чанар, гарц зэрэг үзүүлэлтийг нэмэгдүүлэн хонины махны найрлага дахь амин хүчлийн агуулгыг нэмэгдүүлдэг байна. Түүнчлэн адуу үхрийн аж ахуйд ГХМ агуулсан нэмэлт материал хэрэглэх боломж байна. Үхэр, адуун зэрэг амьтны жин маш хурдан, өөрөөр хэлбэл өдөр тутмын өсөлт 18 - 20% илүү байх магадлалтай болох нь тогтоогджээ. Үүний зэрэгцээ сүүний гарц 5 - 10% нэмэгдэж байна. ГХМ агуулсан нэмэлт бодис шувууны аж ахуйд ч ач тусаа өгч байна. Шувууны өндөглөх хугацааг 3 - 10 өдрөөр урагшлуулан өндөгний гарцыг 10 - 20% нэмэгдүүлдэг.

Будагны үйлдвэрлэлд: Савхи, ноос, ноолуур зэрэг хөдөө аж ахуйн гаралтай түүхий эдийг боловсруулахад будагны чанарыг ГХМ -н тусламжтайгаар сайжруулах болов. ГХМ -ын агуулгатай будгаар будсан торгон савхин эдлэлийн өнгө ердийн будагнаас тод, гүн, жигд сайн байдгаас гадна өнгөний гажиг үүсдэггүй. Ноос ноолууран эдлэлийг ердийн будгаар будахдаа хүчтэй хүчиллэг орчинд глауберийн давсны ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ) 80- 100<sup>0</sup> С уусмал (рН = 4 - 6) ашигладаг. Харин будагны уусмалын найрлага дахь  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$  ын хэмжээг бууруулан ГХМ –ыг зохистой тунгаар нэмж хэрэглэвэл будагны өнгөний үзүүлэлтийг сайжруулах шинэ арга замыг олжээ. Нэгэнт будаж өнгө оруулсан ноос ноолуурыг ГХМ -ын агуулгатай будганд оруулж цайруулж ч болдог байна.

Үр тарианы үйлдвэрлэлд: Газрын ховор элементийн химийн нэгдлүүд, тухайлбал ГХ - нитратуудаар тариан талбайн хөрс бордож, фотосинтезийн явцыг түргэтгэх замаар үр тарианы физиологийн үйл явцыг хурдасган улмаар нэгж талбайгаас авах ургацын хэмжээг

нэмэгдүүлнэ. Мөн түүнчлэн ургамлын херотерлик шинж чанарыг нэмэгдүүлэн ган гачгийг тэсвэрлэх, хүйтэн цаг уурыг даах тэсвэртэй болгоно.

Ган гачиг тэсвэрлүүлэгч ГХМ: Ой мод үр тариалангийн ургамлыг ган гачгийн эрсдлээс авран хамгаалахад ГХМ хэрэглэх болов. ГХМ агуулсан шинэ олон нэр төрлийн өндөр молекульт азот, фосфор натрийн нэгдлүүд нь өөртөө ус удаан хадгалах чанартай байна. Тэдгээрийн оролцоотойгоор байгаль орчинд сөрөг нөлөө үзүүлдэг ган гачиг, хүйтрэл болон давслаг, шүлтлэг орчны нөлөөнөөс мод ургамлыг хамгаална. Тариалангийн талбайн усалгааны 30 - 60 м<sup>3</sup> хүртлэх усыг хуурай хөрсөнд хадгалах чанартай учир усны хэрэгцээг буруулдаг. Үүний үр дүнд мод ургамлын насжилт 90% нэмэгдэж, үр тарианы гарц 15 - 40% -иар өссөн байна.

Орчин үед үйлдвэрлэлийн салбарт газрын ховор дан элементүүдийн хэрэглээ хязгаарлагдмал байгаа ч хэрэглэгдэж буй нийт хэмжээ нь харьцангуй их байна. Нөгөө талаар газрын ховор элементүүдийн хэрэглээ олон салбарт хамрагддаг ч гэлээ, тэдгээрийг аль болох бага хэмжээгээр хэрэглэдэг. Газрын ховор элементийн хэрэглээний энэ бүтэц нь цаг үеийн шинжтэй бөгөөд газрын ховор элементийн салбар шинэ залуу байгаатай холбоотой юм. Сүүлийн жилүүдэд өнгөт металлын хайлш гарган авах, ялангуяа нисэх онгоцны үйлдвэрийн хайлш бэлтгэхэд газрын ховор элементүүдийг өргөн ашиглах болов. Ийнхүү магнийг маш бага хэмжээний мишметаллтай холиход, нисэх онгоцны үйлдвэрийн шаардлага бүрэн хангахуйц механик шинж чанартай гол чухал эд ангиудыг үйлдвэрлэх болжээ.

Газрын ховор элементийн ислийн хольц болох полирит нь шилэн эдлэлийн өнгөлгөөний сайн чанарын материал болон хэрэглэгдэх болж байна. Полиритийн найрлагад 40 - 46 % церийн исэл, 50 - 53 % газрын ховор бусад металлын исэл, процентын аравны хувьтай тэнцэх хэмжээний цахиур, кальций, магний, төмөр, хөнгөн цагааны ислүүд орно. Полиритийг хэрэглэснээр (өнгөлж буй шилний зэргээс хамааран) өнгөлгөөний машины бүтээмж 10 - 30 % дээшилдэг байна. Үүний зэрэгцээ крокус, трифалин зэрэг ердийн өнгөлгөөний материалаар өнгөлж болзошгүй зүйлийг өндөр тогтворжилтойгоор өнгөлнө. Учир нь шилний 1м<sup>2</sup> талбайд ногдох крокус ба трифалинаас хэд дахин бага зардлаар өнгөлгөөг хэд дахин хийж болдог байна.

Газрын ховор элементийн физик химийн шинж чанарын судалгаанд гарч байгаа томоохон ололт амжилт, түүнчлэн энэ элементүүдийг гарган авах, дан элементийг цэврээр гарган авах шинэ арга зүй нь тэдгээрийн хэрэглээний салбарыг улам өргөжүүлж байна. Шилний аж үйлдвэрийн салбарт полирит юугаар ч орлуулшгүй материал болон

хэрэглэгддэг учир дуран авайн шилний шинж чанарыг гагцхүү полирит тодорхойлно. Чанарын шаардлага хангасан крокус үйлдвэрлэхээс полиритийг гарган авах нь хялбар хэдий ч ашигт үйлийн коэффициент нь их байдгаас прожекторын гэрэлтүүлэгч ба толь үйлдвэрлэхэд крокусыг полиритоор орлуулж болдог байна.

Ширэм, ганд газрын ховор элементийг нэмэлт болгон хэрэглэх болсоор бүтэн жаран жил болсон хэдий чиг хэрэглээний хэмжээ нь одоо болтол хязгаарлагдмал хэвээр байгаа. Ширэм ганд голдуу мишметалл, церий ба лантаны агуулгатай церийг нэмж өгдөг. Газрын ховор элемент нь хүхэр, азот, нүүрстөрөгч, фосфор, устөрөгч, хүчилтөрөгч зэрэг элементүүдийн нэгэн адил ширэм ба ганд нэмэлт болгон хэрэглэгддэг чанараараа онцлох ялгаатай бөгөөд дээр дурьдсан хольцуудыг шингээн авснаар бүтээгдэхүүний чанарыг сайжруулдаг байна. Ширэмний найрлагад дөнгөж 0,15 % церийн исэл нэмж өгөхөд урсамтгай чанар болон боловсруулалт нь эрс сайжирна. Нэг тн ган хайлуулахдаа 45 - 65% церий ба 30 % хүртэл лантан агуулсан 0,9 кг мишметалл нэмэхэд гангийн найрлага дахь (жишээ нь мартины ган дахь) хүхрийн хольцын хэмжээ 0,012 – 0,14 % -иар буурна. Гагцхүү ган ба ширэмний найрлагад газрын ховор элемент нэмэхийн ач холбогдол бүрэн төгс судлагдаагүй байна. Гэвч газрын ховор элементийн үйлчлэлийн үндсэн ялгаа нь хайлалтаар ангижирах металл биш элемент ба тэдгээрийн химийн нэгдэлтэй хамт эдгээр металлын хайлах цэг харилцан өөр байгаагаар тайлбарлагдах учраас ихэнхи тохиолдолд ийм орлуулалтыг ашиглах нь үр дүнтэй байж болно. Газрын ховор элемент болон үнэт металлыг зөв зохистой ашиглахад энэ чиглэлийн судалгааг явуулах нь тэргүүн зэргийн ач холбогдолтой юм.

Түүнчлэн ГХЭ -ийг өнгөт металлд нэмэх нь чухал үүрэгтэй байна. Газрын ховор элементийн исэлдүүлэн цэвэршүүлэгч шинж чанарын тухай эс дурьдан, зэс, түүний хайлшуудад цахиур ба хөнгөн цагааныг хольж хатууруулдагаас илүү эрчимтэйгээр, хөнгөн цагаан ба магнийн хайлшийг церийгээр чанаржуулан, физик механикийн шинж чанарыг нь эрс сайжруулдаг байна. Ийнхүү хөнгөн цагааны хайлшид 0,3 - 11 % мишметалл нэмж, халуун даах чанарыг нь нэмэгдүүлснээр, түүгээр нисэх снгоцны хөдөлгүүрийн эд ангийг үйлдвэрлэх боломж бүрдэж байна. АНУ-д гэхэд л дараах найрлагатай стандарт хайлшуудыг өргөн хэрэглэдэг байна. Үүнд, Се 45 - 50 %, La, 22 - 25 %, Nd15 - 17 %, {Pr, Tb, Y, Sm} 8 - 10 %, Fe ба Si 0 - 0,5 % байна.

Хөнгөн цагааны энгэсэг ба хөнгөн цагаант цахиур - зэсийн хайлшинд 0,3 - 0,95 % - ийн церий нэмэхэд тэдгээрийн механик шинж чанар дээшилнэ. Тэр ч бүү хэл, маш бага хэмжээний, 0,05 - 0,2 % церийн хольц эдгээр хайлшийн чанарыг сайжруулж, дотоод



шаталтын хөдөлгүүрийн цилиндрийн блок, толгой, поршин, картер зэрэг чухал эд ангийг хийх нөхцлийг хангана. Маш бага хэмжээний церийг магнийд хольсноор энэ металлын халуун даах чанар нэмэгдэхийн зэрэгцээгээр 260- 300 хэмд ч хатуулаг, уян хатан чанар, механик бат бэх чанар нь сайн байна.

Церийн давхар исэл нь шилний хайлалтын явцад  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  болон хувирах ба шилийг тунгалагжуулах үр дүнгээр уламжлалт бодисуудаас ихээхэн давуу байна. Шилний масст церийн давхар исэл 0,1 % нэмж өгснөөр шилний тунгалагжилт 90,8 % дээшилж ирдэг бол тус бүр 0,2 % хэмжээгээр авсан мышьякийн исэл ба сурьмагийн исэл шилний тунгалагжилтийг 89,6 % иар нэмэгдүүлдэг байна. Церийн ислийн шил тунгалагжуулагч өөр нэг онцлог нь гэвэл, мышьяк болон бусад бодисоор боловсруулсан ердийн шил удаан хугацаанд нарны гэрлийн үйлчлэлээр гэмтэж шарлан, гэрэл нэвтрүүлэх чанараа аажим алддаг байхад церийн шилний чанар огт өөрчлөгддөггүй байна. Шилэнд 0,6 - 0,7 % церийн исэл нэмэхэд гамма ( $\gamma$ ) туяаны үйлчлэлийг мэдэрдэггүй байхад церийн исэл нэмээгүй шил гамаа туяаны үйлчлэлээр амархан харладаг байна.

Зарим газрын ховор элементийг шил будах болон тусгай зориулалтын оптик шилний технологид эерэгээр хэрэглэх хэрэглэгдэх болов. Жишээ нь неодимийн шилийг нарны гэрлийн сөрөг үйлчлэл бүхий туяанаас хүний нүдийг хамгаалахад, празеодимтай шилийг нил ягаан туяанаас хамгаалахад, цахиур агуулаагүй лантаны шилийг дүрсийг нарийн сайн зураглах зорилгоор гэрэл зургийн аппаратын дуранд, 2-4 % церийн исэл нил ягаан туяа огт нэвтрүүлдэггүй шил үйлдвэрлэхэд тус тус ашиглагдаж байна.

Цөмийн техник, технологид газрын ховор элементийн хэрэглээ чухал байр эзэлдэг. Нейтронуудын хүчтэй шингээгч болох гадолиний ба самарийн ислүүд атомын төхөөрөгт хэрэглэгддэг. Жишээ нь лантан ба калийн давхар давс уран, плутонийг салгах, нептунийг гарган авахад ашиглагдана.

Газрын ховор элементийн зарим давс ислүүд нь конденсатор, керамикийн үйлдвэрлэл (неодим ба празеодимийн ислүүд) –д нэвтэрснээс гадна катализатор (лантаны ба стронцийн манганит, магний-церий), шаазангийн будаг (церийн бүлгийн элементийн ислүүд цайвар бор өнгө өгөх ба празеодимийн цэвэр нэгдлүүд –ногоон, неодимийнх – аметистийн улаан өнгө өгнө.) болгон хэрэглэдэг.

Церий, неодим, празеодим цахилгаан гүйдлийг муу дамжуулдаг учир диэлектрик материалын үйлдвэрлэлд хэрэглэгдэх болжээ. Химийн аж үйлдвэрийн салбарт газрын ховор элементийг янз бүрийн органик синтез явуулах, аммиакийн исэлдүүлэлт ба хүхрийн хүчлийн үйлдвэрт катализатор болгон өргөн ашиглаж байна.



Өөр төрлийн бусад үйлдвэрийн салбарт газрын ховор элементийг хэрэглэхгүй байх газаргүй юм. Ийм үйлдвэрийн тоо хэдэн зуу болох агаад газрын ховор дан элементийн хэрэглээ жил ирэх тутам өсөн нэмэгдсээр байна.

Шинжлэх ухаан технологийн хөгжил дэвшилд уялдсан дэлхийн зах зээлийн хандлагаар эх орныхоо газрын ховор элементийн эрдэс баялагийн судалгааг эрчимжүүлэх, тухайн хүдэр, материалд тохирсон зохистой арга технологи боловсруулан үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх нь судалгаа шинжилгээний ажлын салшгүй хэсэг бөгөөд Монгол орны хөгжлийг тодорхойлогч нэг чиглэл болох ирээдүйтэй юм.

## **ДӨРӨВ. ГАЗРЫН ХОВОР ЭЛЕМЕНТИЙН ЗАРИМ ХЭРЭГЛЭЭГ ТУРШИХ**

### **4.1. Газрын ховор элементээр хольцолсон шилний шинж чанар**

Өнөө үед мэдээллийн технологийн нарийн багаж аппаратаас эхлэн техник технологийн салбар болон хөнгөн хүнс, хөдөө аж ахуй, соёл үйлчилгээний бүхий л салбарт гарч буй хөгжил дэвшлийн ихээхэн хэсгийг газрын ховор элемент болон тэдгээрийг агуулсан бодис, материалиар тодорхойлж байна. Газрын ховор элементүүдийг (ГХЭ) хар ба өнгөт металлурги, цөмийн техник, шил, керамикийн үйлдвэр, цахилган техник, радио техник, электроникийн үйлдвэрлэлийн салбарт өргөн хэрэглэж байгаа бөгөөд ГХЭ ийн хэрэглээ өдөр ирэх тутам шинээр нээгдэн өргөжсөөр байна. 2006 оны байдлаар ГХЭ -ын 20 хувийг катализд, 19 хувийг соронзон үйлдвэрлэлд 16 хувийг өнгөт хар төмөрлөгийн үйлдвэрлэлд, 12 хувийг шил шаазан, керамик, үлдсэн хувийг бусад салбарт хэрэглэж байна [1-5].

Газрын ховор элементийг ашиглан материалын шинж чанарыг хувиргаж байгаагийн нэг жишээ бол шил хайлуулахдаа түүгээр хольцлон шилний шинж чанарыг өөрчлөх явдал юм [6,7]. Эдгээр элементээр хольцолсон шилний өнгө өөрчлөгдөх, оптик шинж чанар сайжрах зэрэг нөлөө байдаг байна [1, 6-8]. Бид энэ ажилдаа монголын зарим ордын түүхий эдээр шил хайлуулахдаа лантан (La), церий (Ce), неодий (Nd) зэрэг ГХЭ ээр хольцлон гарган авсан шилний физик шинж чанарыг судлах зорилт тавьсан болно. Бидний урд хийсэн судалгаагаар манай орд газрын түүхий эд нь төмөр, хөнгөн цагаан зэрэг металлийн агууламж харьцангуй их байдаг нь тунгалаг шил үйлдвэрлэх боломжийг хязгаарлаж байгаа юм [9,10]. Иймд манай зарим ордын түүхий эдээр шил хайлуулахдаа ГХЭ ээр хольцолсноор шилний өнгийг болон шинж чанарыг өөрчлөх боломжийг судлах нь ШУ ы болон практик ач холбогдолтой юм.

### **ТУРШИЛТ**

Бидний өмнөх ажилд [10] шил хайлуулах туршилтанд хэрэглэж байсан 3 орд газрын элсийг сонгон авч энэ удаагийн шил хайлуулах, хольцлох туршилтанд хэрэглэсэн болно. Эдгээр элсний эрдсийн болон элементийн найрлагыг рентген дифрактометр SIEMENS D500, атомын шингээлтийн спектрофотометр PERKIN-ELMER 5000 дээр хэмжин тодорхойлсон дүнг хүснэгт 4.1.- д үзүүлэв. Өмнөх ажлуудад судлагдсан монголын шилний түүхий эдүүд (элс болон бутлагдсан кварц) нь хайлах чанар болон шил үүсэх явцаараа илэрхий ялгаатай, хайлмагт хэсэгчилсэн кристаллжилт үүсч байсан байна [11]. Иймд эхлээд сонгон авсан бүх түүхий эдээр өндөр температурын зууханд байнгын ажиглалтанд урдчилсан хайлуулалт хийсэн.

Хүснэгт 4.1. Туршилтанд хэрэглэсэн элсний найрлага, % оор [10]

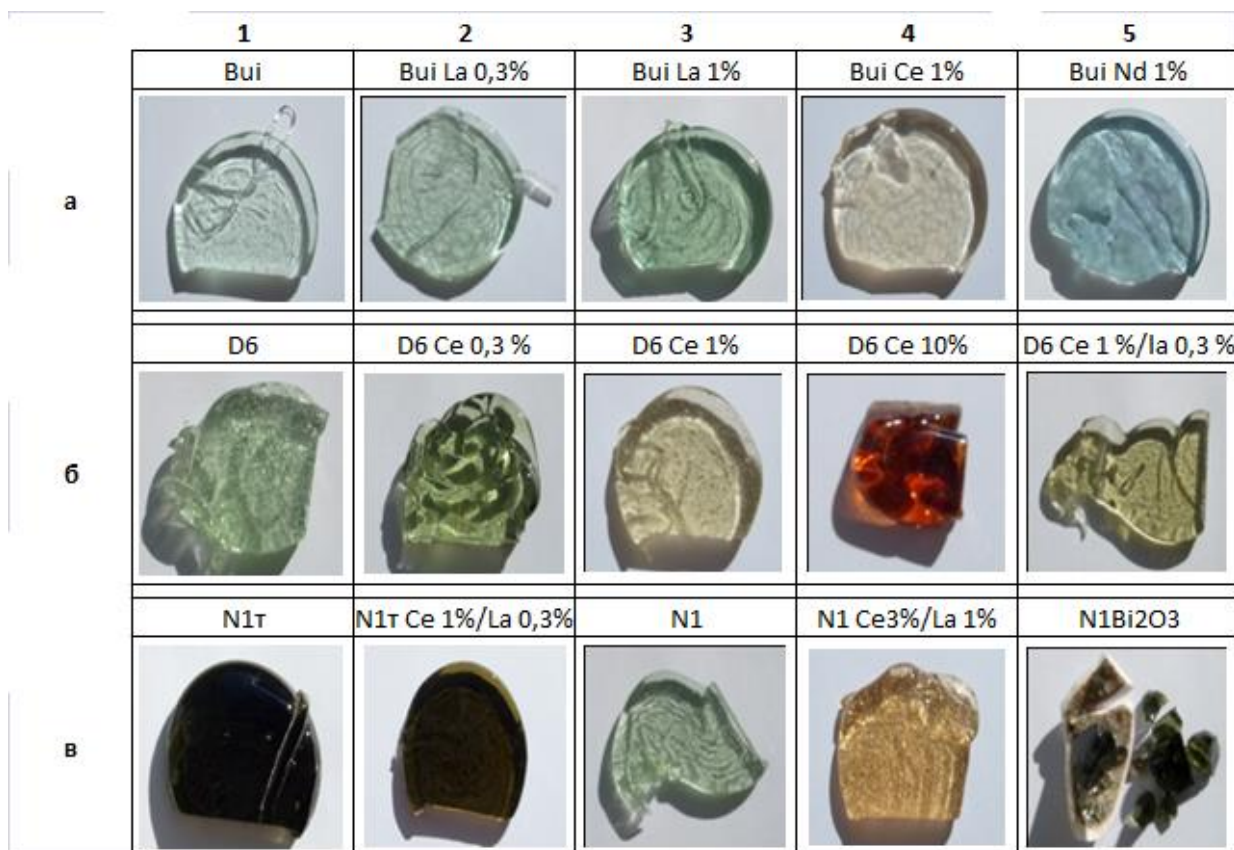
1	D6	AAS	Fe	Mg	Ca	Na	K	Al	Si
			2.32	0.44	0.08	2.28	2.27	5.30	87.31
		XRD	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
			3.32	0.73	0.111	3.07	2.73	10.01	80.02
2	N1	AAS	Fe	Mg	Ca	Na	K	Al	Si
			3.01	0.89	0.10	4.37	2.06	5.34	84.23
		XRD	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
			4.30	1.47	0.140	5.89	2.48	10.08	75.64
3	Bui	AAS	Fe	Mg	Ca	Na	K	Al	Si
		XRD	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O +H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
			0.2-0.3 %		0.3		0.93 %	4.6- 5.2	91-93 %

Түүхий эдийн найрлага дахь цахиурын агууламжаас хамаараад түүний хайлах температур өндөр байсан тул [12] бүрэн хайлах нөхцөл бүрдэхгүй байсан. Цаашид хийгдэх туршилтуудад (150 мл хүртэл хэмжээтэй хайлуулалт) монголын түүхий эдийг ашиглан Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ба CaCO<sub>3</sub> (анализын цэвэр) -ыг нэмж хийн 16Na<sub>2</sub>O\*10CaO\*74SiO<sub>2</sub> найрлагатай шил хайлах хольмогийг бэлдэн туршилт тавьсан. Шилийг ГХЭ ээр хольцлох зорилгоор энэ үед элсний дээжид жингийн 0,3 % – 10 % хүртэл La, Ce, Nd -ийг нэмэн өгч сайтар холин бэлдмэлийг 1600 °C температур даах 96,9 % ийн Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> агуулсан корунд тигельд хийн тасалгааны температурт байх зууханд хийж халаан 1450 °C температурт 4 цаг байлгана. Үүний дараа хайлмагийг гарган богино хугацаанд (5-10 сек дотор) хавтгайлж хэвлээд 700 °C температуртай зууханд хийж аажим (температурын уналт 2K / мин аас бага байна) хөргөнө. Ингэж хайлуулж гаргаж авсан шилнээс хэмжилтийн дээж бэлдэнэ. Бид ГХЭ ээр хольцолсон шилний нягт, гэрлийн нэвтрэлт, ойлт, шингээлтийг үзэгдэх болон хэт ягаан туяаны мужид, хугарлын индекс, шугаман тэлэлтийн коэффициент, шилжилтийн температур зэрэг параметруудийг хэмжсэн болно. Бэлдсэн дээжинд гэрлийн ойлт, нэвтрэлтийг хэмжин A(шингээлт) + R(ойлт) + T(нэвтрэлт) = 1 байхыг харгалзан гэрлийн ойлтыг тодорхойлсон болно. Бид хэмжилтийн үр дүнг боловсруулахдаа гэрлийн шингээлт, нэвтрэлтийг шилний зузаан 3 мм байхаар жигдрүүлэн (нормчилсон) тооцсон болно.

Ингэснээр дээжүүдийн хэмжилтийн үр дүнг хооронд нь харьцуулж үзэх боломжтой болох юм.

### ҮР ДҮН

Зураг 4.2. -д ГХЭ -ээр хольцолсон болон хольцлоогүй шилийг харууллаа.



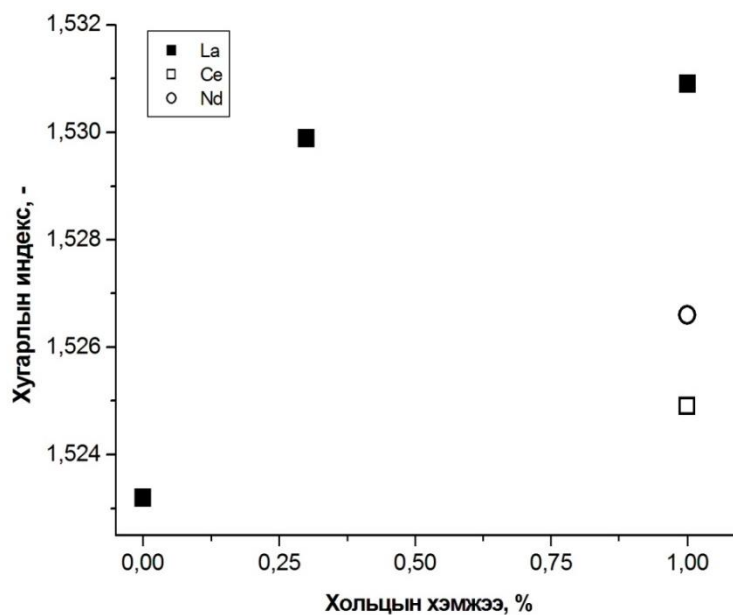
Зураг. 4.2. ГХЭ -ээр хольцолсон болон хольцлоогүй шилний өнгө

Зургаас харахад лантан нь шилэнд ногоон өнгө (a1-a3), нодий нь цэнхэр өнгө (a5) оруулдаг бол церий тунгалаг (тунгалагаас сул ягаан) (a4, б3) болгож байна. Церий 0,3 % байхад (б2) шилний өнгөнд бараг нөлөөлөхгүй байгаад түүний хэмжээ 1,0 % хүрэхэд шилний анхны өнгөнөөс шалтгаалахгүйгээр (a4, б3) тунгалаг болсон байна. Харин хольцын хэмжээг цаашид ихэсгэн 10 % хүргэхэд шилний өнгө “хуван улаан хүрэн” болсон (б4). Элсээ цахилгаан зуухан (плитк) дээр халаахад түлэгдэн харласан юм (в1). Энэ шилийг хольцолоход өнгө нь бага зэрэг цайсан байна (в2).

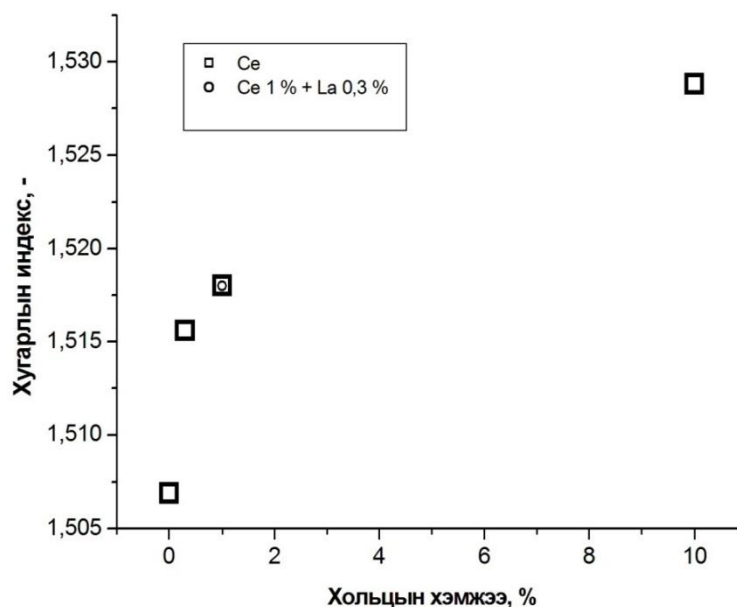
Хоёр өөр ГХЭ -ээр зэрэг хольцолсон N1 шилний нэвтрэлтийн спектруудийн хэмжилтээс үзвэл хэдийгээр La нэвтрэлтийг бууруулах эффект үзүүлдэг боловч Ce энд давамгайлах үүрэг гүйцэтгэж байна. Тунгалагийн зэрэг муу шилний нэвтрэлт хольцолсны дараа ихээхэн хэмжээгээр сайжирч байна. Мөн Висмутын исэл нь үзэгдэх гэрлийн мужид

гэрлийн нэвтрэлтийг сайжруулах хольц болж байна. Се -ээр 0,3 % болон 1,0 % -иор хольцолоход шингээлт, ойлт, нэвтрэлт бүгд бага өөрчлөлттэй байгаа бол Се -ээр 10,0 % иор хольцолоход шингээлт бага зэрэг өсөж харин үзэгдэх гэрлийн мужид ойлт эрс ихсэн улмаар гэрлийн нэвтрэлт ихээхэн багасаж байлаа.

Зураг 4.3. -д ГХЭ -ээр хольцолсон шилний хугарлын индекс хольцын хэмжээнээс хэрхэн хамаарахыг харуулав.



а



б

Зураг 4.3. ГХЭ ээр хольцолсон шилний хугарлын индекс хольцын хэмжээнээс хамаарах нь. а – Вii шил, б - D6 шил

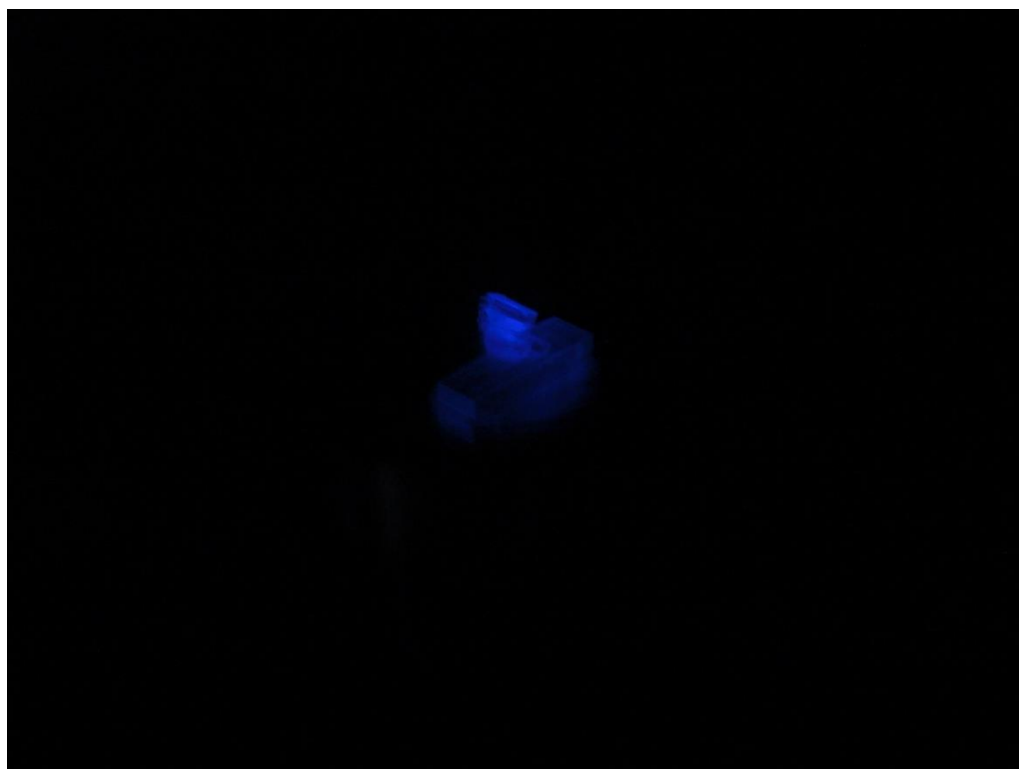
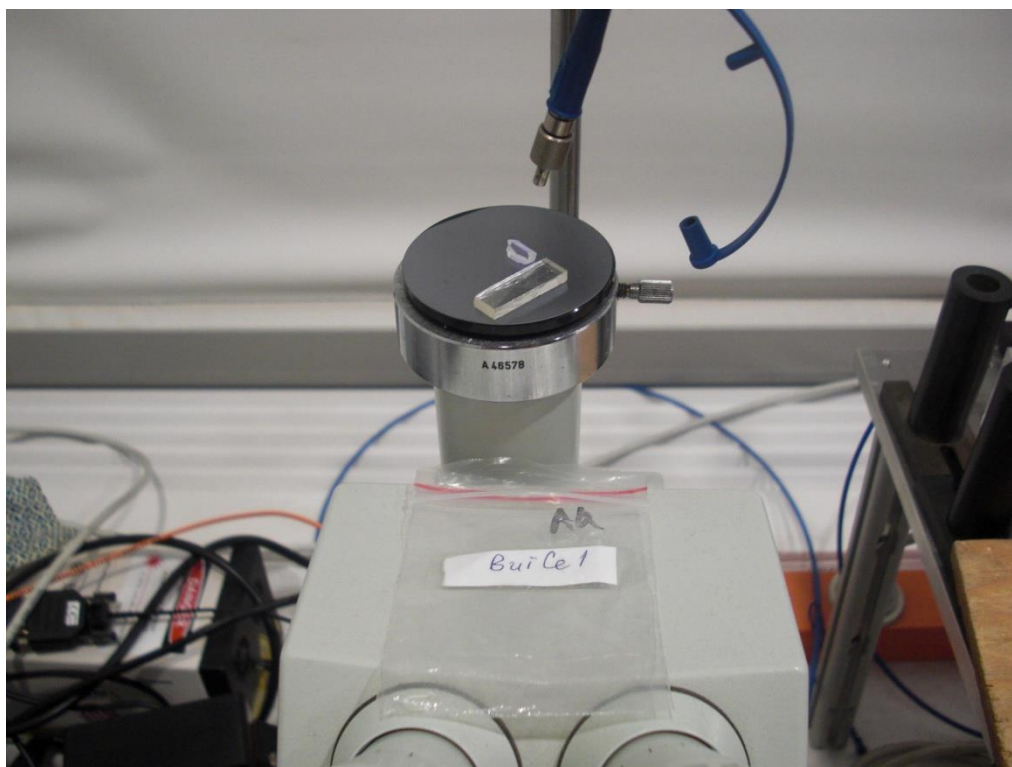
La, Ce Nd -ийн хувьд хольцын хэмжээ ихсэхэд шилний хугарлын индекс ихсэх бөгөөд La нь хугарлын индекст илүү нөлөөтэй байна. Ce -ээр хольцолсон шилэнд La -ийг 0,3 % -иар нэмбэл хугарлын индексд нөлөөлөхгүй байлаа. Зураг 4.3. а,б ийг харьцуулан үзвэл хугарлын индексд шилний тунгалагын зэрэг (нөгөө талаас түүхий эдийн бохирдлын зэрэг) бидний сонгосон дээжийн хувьд онц нөлөөлөхгүй байна.

#### **4.2. ГХЭ ээр хольцолсон шилний люминесценц**

ГХЭ ээр хольцолсон шилний люминесценц үзэгдлийг судлахаар 337 нм долгионы урттай, 72.7  $\mu\text{J}$  эрчимтэй  $\text{N}_2$  – лазерыг шилний дээжүүдэд тусгасан юм. Ингэхэд зарим шил люминесценц сайн үзүүлж байлаа. Дараах хүснэгтэд ГХЭ –ээр хольцолсон шилэнд люминесценц өгсөн байдлыг үзүүлэв.

*Хүснэгт 4.2. ГХЭ –ээр хольцолсон шил люминесценц өгсөн байдал*

д/д	Дээж	Люминесценц өгөх, эсэх	Гэрэлтэх өнгө
	BuiLa1	өгнө	ногоон
	BuiLa03	Өгнө, сул	
	BuiCe1	Өгнө, сайн	
	D6Ce03	Өгнө, сул	хөх
	D6Ce10	Өгнө, сул	
	D6	сул	шар
	D6Ce1	Өгнө, сайн	
	N1	үгүй	
	Bui	сул	шаргал
	N1Ce3La1	Ce1 ээс сул	
	D6Ce1La03	сул	
	BuiNd1	сул	
	N1[ $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ]	Маш сул	
	N1Ce1La03	Маш сул	
	N1	сул	



Зураг 4.4. BuiCe1 шилэнд 337 нм долгионы урттай лазер тусгахад люминесценц өгч байгаа нь



Хүснэгтээс харахад Се люминесценц өгөх нь бусад ГХЭ ээс сайн байна. La болон Nd люминесценц өгөх нь сул байлаа. Зураг 4.4. -д хэмжилтийн байр болон люминесценц өгч буйг харуулав.

### ДҮГНЭЛТ

Бидний хийсэн туршилтаас үзэхэд La, Ce, Nd зэрэг ГХЭ ийг шилний жингийн 3 хүртэл хувиар түүхий эдэд нэмэн өгч хольцлоход шилний өнгө ихээхэн өөрчлөгдөж байна. Ингэснээр шилний хэрэглээг өөрчлөн ашиглах боломжтой юм. Мөн дээрхи ГХЭ ээр шилийг хольцолсноор шилний үзэгдэх гэрлийн нэвтрэлтийг өөрчлөх боломжтой бөгөөд La, Nd нь нэвтрэлтийг багасгах бол харин Ce ихэсгэж байна. Энэ нөлөө нь тунгалагын зэрэг сул шилэнд илүү нөлөөлөхөөр харагдаж байна. Дээрх ГХЭ нь шилний хугарлын индексийг ихэсгэх ба La ний энэ нөлөө бусдаас давуу байна. Харин энэ нөлөөнд шилний тунгалагын зэргийн нөлөө ажиглагдсангүй.

### Ном зүй

- [1] W.Hankle, Rare Earths Restricted, American Ceramic Society Bulletin, Vol. 89, No 7, 2010 pp 21-26
- [2] [www.wallstreet-online.de](http://www.wallstreet-online.de)
- [3] M.Liedtke, H.Elsner, Seltene Erden, Commodity Top News Nr. 31, 2009, pp. 1-6
- [4] E.Tester, In Metalle der Zukunft investieren, Finanz und Wirtschaft, 26. Mai 2010, Nr. 40, pp.37
- [5] S. Waltritsch, Die Seltenen Erden und ihre Anwendungen, Berg- und Huettenmaennische Monatshefte, Vol. 155(1), (2010) pp.17 – 19
- [6] J. E. Shelby, Rare earths as major components in oxide glasses, Key Engineering materials Vols. 94-95 (1994) pp 1-42
- [7] M.L.Terranova, Doping of glasses with rare elements: some remarks on alpha emission from radioactive isotopes, Materials letters 24 (1995) pp. 297-299
- [8]
- [9] Ш.Чадраабал, П.Алтанцог, М.Цэрэнчимэд, Г. Батдэмбэрэл, Л.Оюунбилэг Монгол орны шилний элс, Улаанбаатар, 2005 он
- [10] П.Алтанцог, Ш.Чадраабал, М.Цэрэнчимэд, Л.Оюунбилэг, Г.Батдэмбэрэл, Т.Баяраа, ШУТ ийн төслийн тайлан, Монгол орны цахиур агуулсан шилний зарим ордын судалгаа 2008 – 2009, УБ 2010
- [11] M. Gemeinert, M. Gaber, I. Hager, M. Willfahrt, D. Borchuluun, On Correlation of Gas-Liquid-Inclusion's Properties and Melting Behaviour of Different Genetic Quartzes for Production of Transparent Fused Silica. Neues Jahrbuch Miner. Abh. **165**, 1 19-27. Stuttgart, Dezember 1992
- [12] П.Алтанцог, Т.Баяраа, М.Цэрэнчимэд, Ш.Чадраабал, Г.Батдэмбэрэл, Түүхий эдийн найрлагаас шилний зарим шинж чанарыг тооцоолох, ФТХ –ийн бүтээл, №36, 2009, х. нөхөх



### 4.3. ГХЭ –ээр хольцолсон малын нэмэлт тэжээл туршсан дүнгээс

#### 4.3.1. ГХЭ –ээр хольцолсон малын нэмэлт тэжээл

БНХАУ –ын эрдэмтэн судлаачид одоогоос 40 гаруй жилийн өмнөөс газрын ховор элементүүд \ГХЭ\ болох лантан (La), церий (Ce), празеодим (Pr) агуулсан хольц /бордоо нь ургацыг нэмэгдүүлж байгааг илрүүлэн, энэ чиглэлд судалгаа шинжилгээний ажлыг тасралтгүй хийж ирсэн байна.

Улмаар дээрхи элементүүдийг агуулсан нэмэлт тэжээлийг хэрэглэн мал, амьтны жинг богино хугацаанд өсгөх, сүү, ноосны гарцыг нэмэгдүүлэх зэргээр ХАА-н гаралтай бүтээгдэхүүний үйлдвэрлэлийг хөгжүүлэх боломжтой болохыг олон арван туршилтын үр дүнгээр батлан харуулсан байдаг [Wan et al., 1998].

1990 ээд оны дундаас барууны эрдэмтэд тухайлбал Австралид [Diatloff et al., 1995], Англид [Andrew et al., 1983], ХБНГУ -д [He et al., 2003] тахиа, гахай, үхэр, хулгана зэрэг амьтад дээр туршсан нь хятадын судлаачдын үр дүнг нотолсон байна. Хэдийгээр энэхүү жингийн өсөлтийн шалтгаан бүрэн тайлбарлагдаагүй боловч ГХЭ -ийн физиологийн харилцан үйлчлэл нь цитоплазмын мембраны болон фотосинтезийн эсвэл энзимийн структур болон идэвхижлийн функцэд нөлөөлж болох юм гэж үзэж байна [Hu et al., 2004].

ГХЭ агуулсан нэмэлт тэжээлээр тэжээгдсэн мал, амьтныг, ердийн / уламжлалт тэжээлээр тэжээсэн мал, амьтантай харьцуулсан зарим үр дүнг авч үзвэл:

- Махны чиглэлийн тахианы биеийн жин 20 % нэмэгдсэн [Zhang and Shao, 1995]
- Өндөглөгч тахианы өндөглөх чадвар 10% нэмэгдсэн [Wu et al., 1994]
- Махны чиглэлийн гахайны жин 32% нэмэгдсэн [Hu et al., 1999]
- Өөхний чиглэлийн гахайны жин 25% нэмэгдсэн [Chen et al., 1997]
- Сүүний үнээний сүүний гарц 25% нэмэгдсэн [Xiong, 1995]
- Загасны жин 18 % нэмэгдсэн [Wan et al., 1999]

зэрэг болно.

Мөн ХБНГУ -ын эрдэмтэд гахай, тахиа, тугал, хулгана дээр туршилт явуулсан байдаг.

Ингэхэд 12 гахайнд биеийн жин 8.8 %, 60 тахианы хувьд биеийн жин 5 - 7 % (35 хоногт), 12 тугалны хувьд 14.6 % (42 хоногт) өссөн дүн гарчээ [Kessler, 2004]. Тэдний судалгаагаар нас гүйцсэн 10 хулгана дээр хийсэн туршилтаар ясны сийрэгжилт багассан дүн гарсан байна. Мөн 4 долоо хонож байгаа 50 хулганы хувьд биеийн жин 9 % хүртэл нэмэгдсэн байна [He et al., 2003]. Германы эрдэмтэд хулгана дээр тэжээлийн найрлага, ГХЭ -ийн агуулга зэрэг хэмжигдэхүүнээс хамааруулан хийсэн судалгаа байна. Мөн тахиа, гахай, тугал дээр хийсэн туршилтаар тэжээл идэх хэмжээ багассан дүн гарсан байна [He et

al., 2003]. Европын холбооны улсууд хүнсэнд хэрэглэх мал, амьтны жинг нэмэгдүүлэхэд төрөл бүрийн антибиотик хэрэглэхийг 2005 оноос хориглоод байна. Харин түүний оронд ГХЭ агуулсан энэ нэмэлт тэжээл мэтийн байгалийн гаралтай нэмэлт хэрэглэхийг зөвшөөрч байна. ГХЭ нь бага хэмжээгээр бүх ургамал, хөрсөнд байдаг бөгөөд удаан хугацааны олон туршилтын дүнгээс үзэхэд хоолны давснаас (NaCl) илүү хоргүй гэдэг нь нотлогдсон байна [Rambeck et. al. 2005]. Одоогоор Швейцарь улс ГХЭ агуулсан ийм тэжээлээр тэжээсэн гахайн махыг зах зээлд борлуулахыг зөвшөөрсөн байна [Rambeck et. al. 2005]. БНСУ энэ тэжээлийг Бугат хотын ГХЭ –ийн судалгааны хүрээлэнгийн дэргэдэх үйлдвэрээс импортлон авч өөрсдийн хэрэглээг ханган улмаар зүүн өмнөд азийн зарим оронд реэкспортлож байна.

3 сарын турш ГХЭ агуулсан тэжээлээр тэжээсэн гахайн булчин, элэг, бөөрийг нейтроноор өдөөсөн анализын арга болон ICP -масс спектрометрээр хэмжсэн дүнгээс үзэхэд ГХЭ маш бага хэмжээгээр шингэж үлдсэн байсан бөгөөд [He et al., 2001] ГХЭ -ийн агуулга хэмжилтийн багажны мэдрэх чадвараас бага байсан нь ургамал, жимс, ногоонд байдгаас бага хэмжээтэй илэрсэн байна [Krafka 1999]. Махны чанар, мах өөхний харьцаа, махы хадгалалт зэрэгт энэ тэжээл нөлөөлөөгүй бөгөөд энэ тэжээлээр тэжээсэн гахайн мах Европын холбооны чанарын дээд зэргийн 2 ангилалд багтсан байна [Rambeck et. al. 2004].



Энэ тэжээл нь мал, амьтанд маш бага хэмжээгээр нэмэлт болгон өгдөг (ж\нь: хонинд өдөрт 10 г өгнө), биеийн жин хурдан нэмэгдүүлдэг, сүүний гарц дээшилдэг, өндөг өгөх чадвар нэмэгддэг зэрэг олон төрлийн нөлөөтэй, мал, гахай, тахиа зэрэг амьтанд аль алинд нь өгөх боломжтой зэрэг олон шинэлэг давуу талтай юм.

### **4.3.2. Туршилт**

Бид монгол малд турших зорилгоор ГХЭ ээр хольцолсон тэжээлийг ХБНГУ ын Мюнхений их сургууль болон БНХАУ –ын ӨМӨЗО- ы Бугат хотын ГХЭ -ийн судалгааны хүрээлэнд бэлтгэн монгол мал дээр богино хугацааны туршилт явуулсан юм.

Туршилтыг Дархан-Уул аймгийн Хонгор сумын Мухарын гол гэдэг газар явууллаа. Зураг 4.5. –д малд өгөхөөр бэлдсэн төрөл бүрийн тэжээлийг харуулав.



*Зураг 4.5 а. Нунтаг тэжээл. Бага малд өгөхөд илүү тохиромжтой*



*Зураг 4.5 б. Шахаж бэлдсэн тэжээл. Хаягдал, хорогдол гарах нь бага боловч төл мал идэхэд хүндрэлтэй байв.*

Тэжээлийг өглөө, оройд бог малд нэг удаад 4г -аар бодон тэжээлд нэмж өгч байлаа. Шахмал тэжээлийг нэг удаад 1 ш өгөхөөр бэлдсэн юм.





Зураг 4.6. Тэжээл бэлдэж байгаа нь

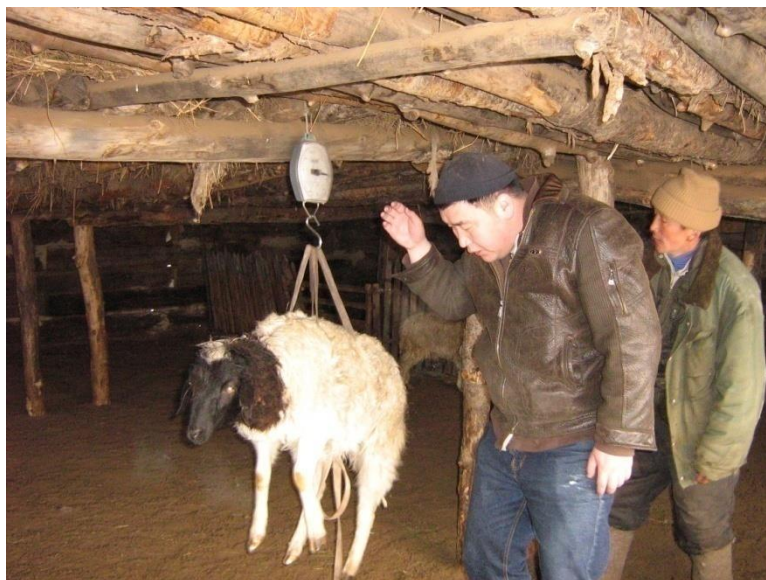


Зураг 4.7. Туршилтын малд тэжээл өгч байгаа нь

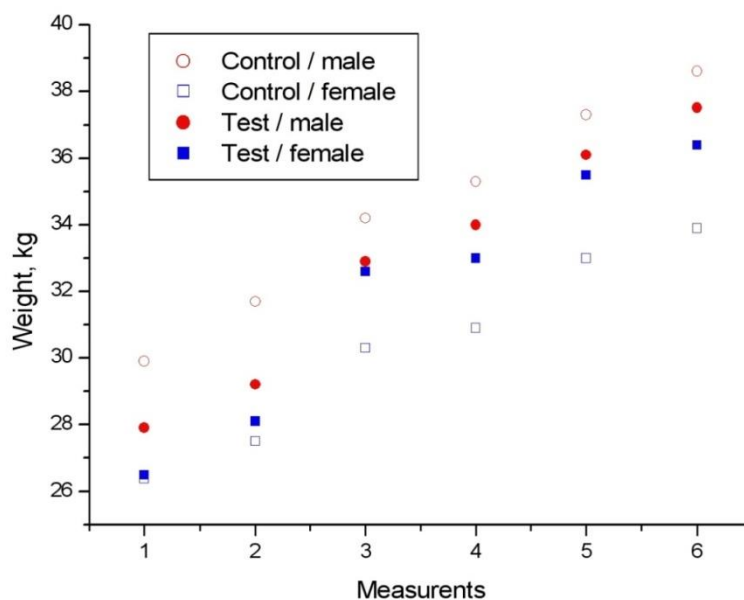
Туршлагын хяналтын группд ГХЭ ээр холицолсон нэмэлт тэжээл өгөхгүй бөгөөд ердийн тэжээлийг адил хэмжээгээр өгнө. Нэмэлт тэжээлтэй туршилтын болон хяналтын малын жинг 5 - 7 хоногт хэмжиж байлаа.

### 4.3.3. Туршилтын үр дүн

Туршилтын урдчилсан үр дүнг Бугат хот болон Мюнхен хотод хэлэлцэж үр дүнгээр 2012 оны 8 сард Итали улсад болох хуралд илтгэхээр болов. Туршилтын болон хяналтын группын малаас нядалж 5 цул эрхтэн, яс, мах, арьс, цусанд газрын ховор элементийн найрлагыг Бугат хотод дээж явуулж шинжилгээ хийлгэсэн болно.

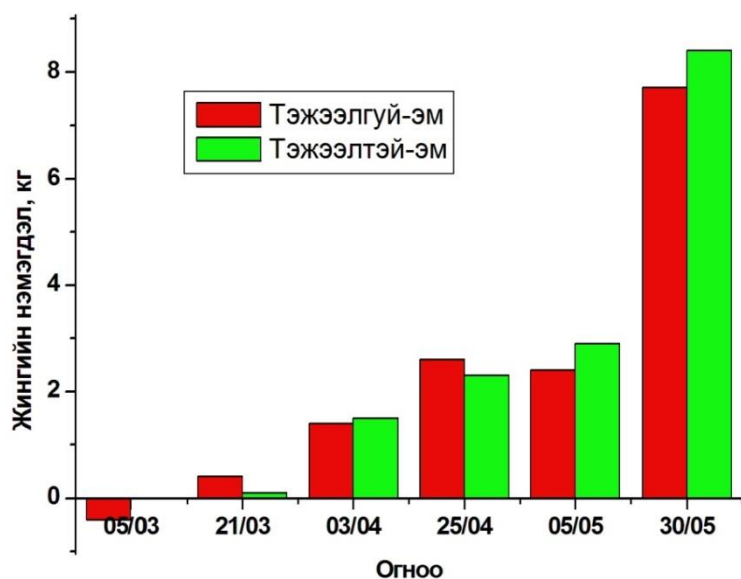
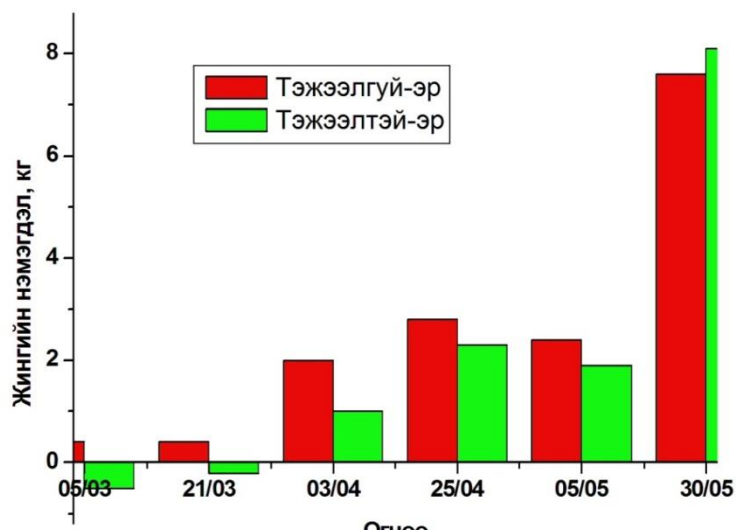


Зураг 4.8. Малын жинг 5-7 хоногт тогтмол авч хянаж байв.



Зураг 4.9. Зуны туршилтын дүн

Туршилтын дүнгээс харахад эр төлөг 13% , охин төлөг 36 % хүртэл илүү жин авсан байна.



	<i>male</i>	<i>female</i>
<i>Control</i>	9.3	8.3
<i>Test</i>	10.5	11.3
	12.9%	36.1%

Зураг 4.10. Хаврын туршилтын дүн



Туршилтын дүнгээс харахад эр төлөг 6.6 % , охин төлөг 9.1 % хүртэл илүү жин авсан байна.



*Зураг 4.11. Туршилтын үр дүнг Мюнхен, Бугат хотод хэлэлцсэн юм*

Мал амьтанд тэжээл зайлшгүй хэрэгцээтэй байдаг. Тэжээл нь бие мах бодын бүхий үйл ажиллагаанд шаардагдах илч дулааны эх үүсвэр, бодисын солилцлын дүнд биеэс задран зарцуулагдсан бодисыг нөхөх материал болох, шинэ эд эс, ашиг шим үүсч бий болох материал, эд эсийн шингэнийг физик, химийн тодорхой орчинтой байлгаж тогтмол барьж байх нөхцөлийг бүрдүүлнэ. Бэлчээрийн хагд өвс, ногооноос 2 дахин урт хугацаанд буюу 240 хоногийн турш монгол малын үндсэн тэжээл болдог. Удаан үргэлжлэх их хүйтний нөлөөгөөр мал биедээ хуримтлуулсан эрчим хүчний нөөцөө шавхаад өвлийн эцэс, хаврын эхэнд тураалын туйлд хүрч илчээ бардаг нь малын бэлчээрт идээшлэх хугацаа нь богиносож, бэлчээрээс олж идэх идэш тэжээлийн хэмжээ багасан, тэжээлийн шингэц шимт чанар буурдагтай холбоотой. Иймээс өвөл хаврын улиралд энэхүү дутагдаж байгаа зүйлийн 60 - 70 хувийг нэмэгдэл тэжээлээр нөхөж өгөх ёстой. Харин энэ дутагдлыг нөхөх тэжээлийн түүхий эдийн нэр төрлийг олж тогтоох явдал зүй ёсоор урган гарч байгаа болно. Иймээс тухайн туршлага судалгааны ажил хийж буй нөхцөлд малын идэж байгаа тэжээл, түүний найрлагыг судлан тогтоох нь идсэн тэжээлээр хэдий хэмжээний шимт бодисыг өгсөн, тэр шимт бодис нь тухайн малын физиологийн шаардлагыг хир зэрэг хангаж байгааг илэрхийлэх үндсэн үзүүлэлт болдог. Дараах хүснэгтэд ГХЭ –ээр баяжуулсан нэмэлт тэжээлийн найрлагыг МААЭШХ –ийн тэжээлийн лабораторид шинжилсэн дүнг үзүүллээ.

*Хүснэгт 4.2. ГХЭ бүхий тэжээлийн найрлага, чин хуурайд/*

Үзүүлэлт	Хуурай бодис	Органик бодис	Протеин	Тос	Эслэг	АХБ	Үнс
Чин хуурайд,%	92,04	91,88	8,07	1,16	1,98	80,67	8,12

МААЭШХ-ийн Тэжээл үнэлгээний лабораторид хийсэн шинжилгээний дүнг авч үзвэл газрын ховор элемент бүхий нунтаг тэжээл нь 1 кг- даа чин хуурай байдалд 918.8 г органик бодис, 80.7 г нийт протеин, 11.6 г тослог, 19.8 г эслэг, 806.7 г АХБ, 81.2 г эрдэс бодистой байгаа нь тогтоогдлоо. Төрөл бүрийн үр тариа, хивэгний найрлагыг газрын ховор элемент оролцуулсан нэмэлттэй харьцуулан үзвэл органик бодис 66.8 г, азотгүй хандлаг бодис 180.7 г, эрдэс бодис / үнс/ 49.8 г- аар илүү, тослогоор вандуйтай ойролцоо, нийт протеины агууламжаар бага байна.



Хүснэгт 4.3. Үр тариа, хивэгний химийн найрлага

Тэжээлийн нэр	Органик бодис	Нийт протеин	Нийт тослог	Нийт эслэг	АХБ	Нийт үнс
Вандуй дунджаар	83,9	18,6	1,4	4,8	59,1	2,35
Хошуу будаа , дунджаар	85,2	11,8	3,2	3,8	60,6	3,7
Арвай, дунджаар	86,0	12,7	2,0	3,9	67,4	2,6
Улаан буудайн хивэг, дунджаар	85,2	12,1	2,9	6,8	63,4	3,9

Аливаа тэжээлийн чанарыг үнэлдэг үзүүлэлтийн нэг нь эслэг байдаг бөгөөд эслэгийн агууламж бага байх нь шингэцийг сайжруулах боломжийг олгодог . Газрын ховор элемент бүхий нэмэгдэл тэжээл нь эрдэс бодисын агууламж өндөртэй байгаа нь эрдэс бодис дутагдалтай байдаг Төв, Сэлэнгийн бүсэд эрдсээр хангах эх үүсвэрийн нэг болно гэж үзэж байна. Дан ганц химийн найрлагыг судлах нь тэжээлийн чанарыг бүрэн гүйцэд илэрхийлж чаддаггүй.

4.4. Туршилтын малын эд эрхтэнд ГХЭ –ийн агуулга тодорхойлсон дүн

**Determination of Rare Earth Residues in Mongolian Sheep Fed Rare Earth Compound Additive by ICP – MS**

**Abstract:** Feeding Mongolian sheep with rare earth compound additives can increase their weight significantly. Rare earth content in Mongolian sheep fed rare earth compound additives was determined by ICP-MS. Samples were dissolved by microwave digestion method. The digestion and test conditions were optimized. The results showed that there were no obvious differences of rare earth residues in muscles between test group and control group. It was just a little higher in bones and wool than those of control groups. Rare earth residues in the test group is 0.1~0.3ug/g

**Key words:** Rare earth compound additive; Mongolian sheep; rare earth residues; ICP-MS

Rare earth compound additive as a new animal feed additive, plays a significant role in increasing livestock's weight, improving feed efficiency and enhancing economic benefit. Cooperated with the Mongolian Academy of Animal Husbandry, we did a 100-day trial on Mongolian sheep feeding. It was found the weight of ram increased more than 18% and that of ewe increased more than 9.1% in summer. While in winter, the weight of ram increased more than 9.1%, and that of ewe increased more than 6.6%. The impact of rare earth entering into biosphere on human health has been widely concerned <sup>[1]</sup>. There are many reports about testing rare earth elements in animals. Deng Xuqi<sup>[2]</sup> had adopted the P507 extraction resin and ICP-AES method to determinate trace rare earth elements in pork and pig liver. The detection limit was 0.33-0.74ng/g; the recovery rate was 84.8%-109% and the precision was 4.9%-11%. Rare earth

residues remained in the liver, bone and other parts. Zhang YuYu<sup>[3]</sup> and others used microwave digestion and ICP-OES method to test Cu,Zn,Ni,Mn,Mo,Co and other microelements in yak meat. The detection limit was 0.0005-0.0120mg/L; the relative standard deviation was 1.50%-4.25% and the recovery rate was 98.6%-102.3%. Liu Hongwei and others<sup>[4]</sup> used microwave digestion and atomic absorption spectrometry to detect the content of K,Na,Ca,Mg and Zn in flounder muscle. The relative standard deviation was less than 2.7% and the recovery rate was 82%-103%. Generally, pressure digestion tank digesting, dry ashing, APS ashing, wet digestion and other methods were used to pre-treated food and other organic samples. But these methods need to soak overnight or to carbonize, ashing and other complicated process with longer testing cycles. And sometimes it needs further processing. Thus, the detection time becomes even longer and the accuracy of tests <sup>[5]</sup> has been influenced. The advantages of microwave digestion include fast digestion and small reagent consumption. It greatly reduces the loss of volatile elements and the pollution of experimental environment to samples. It also reduces the blank value and improves the sensitivity and accuracy of the method <sup>[6]</sup>. In this paper, microwave dissolver was used to digest various parts of the sheep body ,and ICP-MS method was adopted to determinate total rare earth content directly in every part of sheep. Thus, distribution of rare earth in animals will be clear.

#### 4.4.1. Experiment

##### 4.4.1.1 Instrumentation

1.1.1 DRC-e-type inductively coupled plasma mass spectrometry (Perkin Elmer Company). The operating parameters are summarized in Table 1.

**Table 1 Instrumental operating conditions and measurement parameters for ICP**

Operating conditions for ICP		Measurement parameters	
Forward power (W)	1100	Resolution (10% peak height)	(0.70±0.1) u
Plasma gas flow rate(Ar) :	15 L/min	Acquisition mode	Peak hopping
Auxiliary gas flow rate (Ar) :	1.2 L/min	Measurement point/peak	1
Nebulizer Ar gas flow rate (Ar) :	0.82 L/min	Scan Times	10
Enterporise vacuum	1410 <sup>-6</sup> torr	Dwell time	50 ms/次
Interface parameters		Replicates	2
Sampling cone(Ni)	1.1 mm	Sample flow	1.2 mL/min
Skimmer cone (Ni)	0.9 mm	/	/

1.1.2 Multiwave 3000 microwave dissolver (Antonpaar of Austria)

#### 4.4.1.2. Reagents

Nitric acid(GR); Peroxide(GR); Single internal standard stock solution: the concentration of thallium, rhodium, indium and cesium are 100µg/mL ; Mixed internal standard stock solution: 0.25 µg of thallium, rhodium, indium and cesium respectively; Single rare earth standard stock solution:1000µg/mL; Standard stock solution mixed rare earth: 1mL containing 1.00µg various individual rare earth.

#### 4.4.1.3. Sample preparation and the drawing of standard working curves

The Mongolian sheep for both experimental groups and control groups were put to death and samples were selected for testing. Mutton and viscera were weighted , naturally air-dried, then pulverized into powders by the crusher. The wools were washed and dried; and as for the bones, sodium hydroxide was used to treat the meat attached to the surface and the bone marrow was removed. After washed and air-dried, the cleaned bones were pulverized into powders by the crusher as well. Put 0.5g (accurate to 0.0001g) prepared sample into a digestion tank, adding 10mL nitric acid and 1mL hydrogen peroxide, and then digesting these samples according to the setting procedures. After cooled, the samples were moved into a 25mL volumetric flask. Adding 1.00mL mixed internal standard solution into the flask and diluting it with water to the scale, shaking it and waiting for test. The blank samples were done simultaneously.

Accurately pipet 0, 0.10, 0.20, 1.00, 2.00 and 5.00mL mixed rare earth standard solution into six 100mL-volumetric flasks, adding 1.00mL mixed internal standard solution and 1mL nitric acid. After diluting to the scale, mixing it and waiting for test. The concentration of such series of working curves is 1mL containing individual rare earth of 0, 1.00, 2.00, 10.0, 20.0 and 50.0ng respectively.

#### 4.4.1.4. Computational process

The content of rare earth elements were calculated according to the following formula, in units of µg/g.

$$w(M) = \frac{(\rho_1 - \rho_0) \times V \times V_1}{m_0 \times V_2 \times 10^3} \times 100$$

In the formula:

$\rho_1$ ---- The concentration of rare earth ion in the samples, in units of ng per ml (ng/mL) ;

$\rho_0$ --- The concentration of rare earth ions in the blank samples, in units of ng per ml (ng/mL)

V--- Volume of the total tested solution, in units of ml (mL) ;

V<sub>1</sub>---- Determination volume of the tested solution, in units of ml (mL) ;

V<sub>2</sub>----The volume of pipeted solution, in units of ml (mL) ;

m<sub>0</sub> ---- Weight of the sample, in units of g (g);

M---- Measured REE.

Total rare earth content = the sum of content of each rare-earth element.

#### **4.4.2. Results and discussion**

##### **4.4.2.1 The selection of measuring isotope**

We choose the mass number that is abundant and no interference for determination. Although the oxygen composite ions and hydroxide composite ions etc. of light rare earths will interfere with the heavy rare earth isotope. However, considering the low content of various elements, interference can be ignored. So we choose an abundant isotope to be determined. The selected isotopes are shown in table 2.

**Table 2 The selected isotopes**

Elements	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Mass number	89	139	140	141	146	147	153	160	159	163	165	166	169	174	175
Abundance /%	100	99.9	88.5	100	17.6	15.0	52.2	21.9	100	24.9	100	33.6	100	31.8	97.4

##### **4.4.2.2 The selection of Microwave dissolver**

In the process of organic matrix digestion, strong acid and strong oxidizer should be worked together, such as hydrochloric acid, aqua-regia and perchloric acid. However, they are not the best choices. Sulfuric acid and phosphoric acid can easily dissolve the samples, but their viscosity will affect the transmission of the samples. If injecting for a long time, it will seriously erode nickel cone. So such acids should be avoided in the experiment.

Elements in many samples can be released by concentrated nitric acid and the air entrained by plasma has contained compositions of nitric acid. So the adding of nitric acid did not lead to significant increase of some polyatomic ion formed by hydrogen, nitrogen and oxygen. Therefore, nitric acid is generally considered as the best acidic medium for ICP-MS analysis. Hydrogen peroxide is a weak acidic oxidant. It can be decomposed into high-energy active oxygen at a lower temperature. So it is always used for degradation of certain organic

compounds. When hydrogen peroxide is used together with nitric acid, it can greatly improve the oxidative ability of the mixture and completely destroy the organic compounds.

Microwave digestion system composed by temperature and pressure sensor controls the digestion process by setting certain temperature, time and power. According to manufacturer's recommendation, programs of microwave digestion system usually include temperature-increasing phase and constant temperature phase. The two stages are associated with the power, time, nitric acid and hydrogen peroxide. Factors considered and levels for designing orthogonal table L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>) is shown in Table 3 (taking mutton as the sample for analysis).

**Table 3 factors considered and levels**

levels	power (W) A	heating-up time (min) B	equilibrium time (min) C	Amount of nitrate (mL) D	The amount of hydrogen peroxide (mL) E
1	600	20	10	7	1
2	1000	8	15	10	0.5
3	800	10	20	6	2
4	1200	15	5	9	1.5

According to experiment schemes, the experimental results and analysis of variance are shown in Table 4

**Table 4 The experimental results and analysis of variance**

No.	A	B	C	D	E	Results REO/μg/g
1	1	2	3	3	2	0.11
2	2	4	1	2	2	0.31
3	3	4	3	4	3	0.22
4	4	2	1	1	3	0.42
5	1	3	1	4	4	0.31
6	2	1	3	1	4	0.36
7	3	1	1	3	1	0.14
8	4	3	3	2	1	0.29
9	1	1	4	2	3	0.16
10	2	3	2	3	3	0.24
11	3	3	4	1	2	0.20
12	4	1	2	4	2	0.40
13	1	4	2	1	1	0.23
14	2	2	4	4	1	0.19
15	3	2	2	2	4	0.36
16	4	4	4	3	4	0.27
K1	0.81	1.06	1.18	1.21	0.85	/
K2	1.1	1.08	1.23	1.12	1.02	/

K3	0.98	1.04	0.98	0.76	1.04	/
K4	1.38	1.03	0.82	1.12	1.30	/
K1	0.20	0.27	0.30	0.3	0.21	/
K2	0.28	0.27	0.31	0.28	0.26	/
K3	0.23	0.26	0.25	0.19	0.26	/
K4	0.35	0.26	0.21	0.28	0.33	/
Range R	0.15	0.01	0.10	0.11	0.12	/
	Orders of the factors			A>E>D>C>B		
Priority level	A <sub>4</sub>		C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	E <sub>4</sub>	
	Optimal combination			A <sub>4</sub> C <sub>2</sub> D <sub>1</sub> E <sub>4</sub>		

From table 4, we can see that the time of heating-up has no effect on the results. The optimal combination is A<sub>4</sub> C<sub>2</sub> D<sub>1</sub> E<sub>4</sub>. The same experiments have been done on the other parts of the sheep. Digestion conditions are as follows: the power is 1200W; heating-up time is 15min; equilibrium time is 15min; the amount of nitrate added is 7.0mL; the amount of hydrogen peroxide added is 1.0mL; IR temperature is 175°C. However, considering the great pressure during digestion, we should set a pre-digestion procedure with the power of 800W, the heating time of 15min and the balance time of 15min.

#### 4.4.2.3 The power of ICP-MS and the selection of carrier gas flow

Changing power and carrier gas flow and measuring values of the signals. Regarding value of signal under 1100W, 0.80L/min as 1 and then calculating values of signals under different power and carrier gas flow. The results showed that the change of power and carrier gas flow have significant effect to the value of signals of the tested elements. The internal standard elements which acted as corrector also changed correspondingly. Considering effects of the service lifetime, sensitivity and memory effect of RF generator, power of 1100w and carrier gas flow of 0.82L/min should be chosen.

#### 4.4.2.4 Acidity Experiment

The experiment studied on the effect of solution acidity on the determination results. 10ng/mL mixed rare earth standard solution and internal standard solution were added respectively. Then adding different amounts of nitric acid and to determine the values of the signals. Regarding the signal value obtained after adding 1% nitric acid as 1 and calculating the signal values obtained under other acidities. The results showed that: the determination results have no obvious differences when solution acidity is less than 5%. Considering corrosive effect

of high acidity to the equipment, we choose nitric acid with acidity of 1% as the measuring acidity.

#### **4.4.2.5 Experiment on matrix**

Mutton and sheep viscera were composed of fat-carbon chain. The samples transformed into gas and water after microwave digestion. Experiments showed matrix has little effect on determination results.

#### **4.4.2.6 Experiments on selection of internal standard elements and recovery rate**

Rh, In, Cs and Tl were used as internal standard elements in the experiment respectively. We added 5ng/mL mixed rare earth standard solution before digestion. Different internal standard elements were chosen to calculate the recovery rate. The results were shown in table 5.

**Table 5 Selection of internal standard element and experiments for recovery unit : %**

Mass number	internal standard element			
	Tl	Rh	In	Cs
<sup>89</sup> Y	96	106	101	102
<sup>139</sup> La	97	94	100	101
<sup>140</sup> Ce	93	94	100	101
<sup>141</sup> Pr	94	93	98	100
<sup>146</sup> Nd	95	96	102	103
<sup>147</sup> Sm	94	98	104	102
<sup>153</sup> Eu	92	99	104	101
<sup>160</sup> Gd	93	101	104	99
<sup>159</sup> Tb	97	96	101	103
<sup>163</sup> Dy	98	99	103	102
<sup>165</sup> Ho	99	93	103	98
<sup>166</sup> Er	102	101	105	101
<sup>169</sup> Tm	101	102	106	98
<sup>174</sup> Yb	94	95	102	99
<sup>175</sup> Lu	98	97	99	100

The results showed that these four internal standard elements are well and the recovery rates are between 92% and 106%. Viewing from a single internal standard element, recovery rate obtained from taking Cs as the internal standard element fluctuated the most slightly. Therefore, we choose Cs as the internal standard to do the experiment.



#### 4.4.2.7 Detection limit and determination limit

Blank solution was detected for 11 times and signal intensity was counted to calculate standard deviation. Three times standard deviation was used as the detection limit and 10 times standard deviation was used as the determination limit. Statistical results of detection limit and determination limit of every isotopes were shown in Table 6.

**Table 6 Detection limit and determination limit unit : ng/mL**

Isotopes	Detection limit	Determination limit
<sup>89</sup> Y	0.0033	0.011
<sup>139</sup> La	0.010	0.033
<sup>140</sup> Ce	0.012	0.040
<sup>141</sup> Pr	0.013	0.043
<sup>146</sup> Nd	0.022	0.073
<sup>147</sup> Sm	0.017	0.056
<sup>153</sup> Eu	0.026	0.086
<sup>160</sup> Gd	0.012	0.040
<sup>159</sup> Tb	0.019	0.063
<sup>163</sup> Dy	0.0012	0.0040
<sup>165</sup> Ho	0.0035	0.012
<sup>166</sup> Er	0.025	0.083
<sup>169</sup> Tm	0.0065	0.021
<sup>174</sup> Yb	0.018	0.059
<sup>175</sup> Lu	0.026	0.086

#### 4.4.2.8 Precision experiments

In order to investigate the precision of this experimental method, the practical samples (take mutton for example) were tested for 6 times. Average value and relative standard deviation was counted. The statistical results were shown in Table 7.

**Table 7 Precision experiments unit:µg/g**

element	Measured value						average value	RSD/%
REO	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	4.84

The result indicated that the precision was satisfactory with RSD less than 0.53%.

#### 4.4.2.9 Comparison of rare earth in different parts of sheep body

In order to investigate the enrichment of rare earth elements in different parts of sheep body, total rare earth in wool, heart, liver, lung, renal, blood, spleen, mutton and bones of different mongolian sheep was determined. Statistical result is shown in Table 8.

**Table 8 Comparison of REO in different parts      unit:µg/g**

Number of sheep	Wool	Heart	Liver	Lung	Renal	Spleen	Mutton	Bone	
Sheep fed without RE	0182	4.08	0.047	0.032	0.31	0.17	0.023	0.084	0.43
Sheep fed with RE	0020	3.56	0.24	0.18	0.11	0.054	0.10	0.40	/
Sheep fed without RE	0964	11.0	0.10	0.051	0.10	0.11	0.15	0.11	/
Sheep fed without RE	1243	10.57	0.054	0.035	0.067	0.058	0.067	0.16	0.43
Sheep fed with RE	1388	11.72	0.18	0.062	0.11	0.17	0.23	0.23	0.56
Sheep fed with RE	1441	10.81	0.17	0.13	0.072	0.090	0.14	0.25	/
Sheep fed with RE	1373	11.68	0.10	0.048	0.071	0.11	0.056	0.10	/

Table 8 showed that rare earth content does not change obviously in the body of sheep fed with or without rare earth feed. This suggested rare earth was accumulated slightly in body of mongolian sheep, while relatively much higher in wool, bone and heart etc. This is helpful to build up health of sheep, enhance cold resistance and anti-disease ability. Rare earth content changed little in mutton.

#### 4.4.3. Conclusion

Samples can be quickly digested by using microwave digestion method in nitric acid - hydrogen peroxide system. Total rare earth was determined with ICP-MS method which was simple and fast. The results showed that the recovery rate was 98.00-103.0%, detecting limit 0.0040~0.86ng/mL, and RSD less than 5%. Statistics of rare earth accumulation and distribution in different parts of sheep body by determining rare earth content in Mongolian sheep body suggest that rare earth was accumulated slightly in body of sheep fed with rare earth additives. It mainly concentrated in wool, bone and other parts, while relatively few in mutton.

## References

- [1] 倪嘉缙·稀土生物无机化学[M]. 第2版. 北京:科学出版社, 2002.
- [2] 邓旭旗·钟志光·刘崇华等.ICP-AES法分析猪肝、猪肉中痕量稀土元素[J].光谱实验室.2002,19(1):60-64.
- [3] 张玉玉·唐善虎·胡子文等.应用微波消解/ICP-OES法测定牦牛肉中的微量元素[J].食品科学.2008,29(9):526-528.
- [4] 刘宏伟·常建波·刘爱原.微波消解-原子吸收光谱法测定牙鲈肌肉中K、Na、Ca、Mg、Zn的含量[J].集美大学学报.2007,12(4):311-313.
- [5] 于峰, 金秀华·白梅等.石墨炉原子吸收法测定食品中铅和镉[J].理化检验 - 化学分册1996, 32(1):34- 35.
- [6] 王爱月·李永利.微波消解法测定食品中砷、汞元素研究[J].河南预防医学杂志, 2002, 13(2):106- 108.

### 4.5. ГХЭ агуулсан шилийг цөмийн хаягдал хадгалахад ашиглах боломжийн тухай

Ер нь 1960 аад оноос хатуу хаягдал хадгалах, зайлуулахад шил, шилэн төрлийн материал ашиглах судалгаа хийгдэж ирсэн байна. Энэ нь хаягдлын эзлэхүүнийг 90 % хүртэл багасгах, буцаан ашиглах боломж нэмэгдүүлэх зэрэг ашигтай байдаг байна. Сүүлийн жилүүдэд ГХЭ агуулсан шилийг цөмийн хаягдал хадгалахад ашиглах тухай судалгааны ажил хийгдэж байна (хавсаргасан ном зүйн жагсаалт үз). Бид энэ төрлийн судалгааны ажлын ном зүйн судалгаа хийх зорилгоор дэлхийн томоохон мэргэжлийн сэтгүүлүүдэд хэвлэгдсэн ажлын мэдээлэл цуглуулах ажил хийж 100 гаруй ажил цуглуулан ном зүйн судалгаа хийж байна. Үүний дараа бид ХБНГУ, Монгол, Хятад, ОХУ ын эрдэмтэд оролцсон ШУТ –ийн төсөл боловсруулах болом судлах зорилт тавьж байна. Дор судалгааны хүрээнд олж ажиллаж байгаа гадаадын эрдэмтдийн ажлыг жагсаав.

References

1. M. Anne, J. Lumeau, L. Glebova, L.B. Glebov, *Specific absorption spectra of cerium in multicomponent silicate glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids 356 (2010) 2337–2343
2. M. A. Audero, A. M. Bevilacqua, N. B. M. de Bernasconi, D. O. Russo, M. E. Sterba, *Immobilization of simulated high-level waste in sintered glasses*, Journal of Nuclear Materials 223 (1995) 151-156
3. High level waste forms, in Nuclear fuel cycle, 2006, pp. 86 – 88
4. Bardez, D. Caurant, J.L. Dussossoy, P. Loiseau, C. Gervais, F. Ribot, D.R. Neuville, N. Baffier, C. Fillet, *Development and characterization of rare earth-rich glassy matrices envisaged for the immobilization of concentrated nuclear waste solutions*, Nuclear Science and Engineering Vol. 153, 3, 2006, 272-284
5. J. K. Bates, J. P. Bradley, A. Teetsov, C. R. Bradley, M. Buchholtz ten Brink, *Colloid Formation During Waste Form Reaction: Implications for Nuclear Waste Disposal*, Science vol. 256 1 May 1992, 649-651
6. E. Bernardo, F. Andreola, L. Barbieri, and I. Lancellotti, *Sintered Glass–Ceramics and Glass–Ceramic Matrix Composites from CRT Panel Glass*, J. Am. Ceram. Soc., 88 [7] 1886–1891 (2005)
7. E. Bernardo, R. Castellan, S. Hreglich, I. Lancellotti, *Sintered sanidine glass-ceramics from industrial wastes*, Journal of the European Ceramic Society 26 (2006) 3335–3341
8. E. Bernardo, M. Varrasso, F. Cadamuro, S. Hreglich, *Vitrification of wastes and preparation of chemically stable sintered glass-ceramic products*, Journal of Non-Crystalline Solids 352 (2006) 4017–4023
9. M. Bevilacqua, N. B. M. de Bernasconi, D. O. Russo, M. A. Audero, M. E. Sterba, A. D. Heredia, *Immobilization of simulated high-level liquid wastes in sintered borosilicate, aluminosilicate and aluminoborosilicate glasses*, Journal of Nuclear Materials 229 (1996) 187-193
10. J. de Bonfils, G. Panczer, D. de Ligny, S. Peugeot, B. Champagnon, *Behaviour of simplified nuclear waste glasses under gold ions implantation: A microluminescence study*, Journal of Nuclear Materials 362 (2007) 480–484
11. G. Buvaneswari, U.V. Varadaraju, *Low leachability phosphate lattices for fixation of select metal ions*, Materials Research Bulletin 35 (2000) 1313–1323
12. D. Caurant, O. Majerus, P. Loiseau, I. Bardez, N. Baffier, J.L. Dussossoy, *Crystallization of neodymium-rich phases in silicate glasses developed for nuclear waste immobilization*, Journal of Nuclear Materials 354 (2006) 143–162
13. G. Manolescu, O. Majerus, D. Caurant, P. Barboux, T. Charpentier, F. Devreux, *Effects of Solution Chemistry on the Alteration Kinetics of a Simplified Nuclear Glass in*

- Aqueous Medium*, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIV, edited by K.L. Smith, S. Kroeker, B. Uberuaga, K.R. Whittle (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1265, Warrendale, PA, 2010)
14. N. Chouard, D. Caurant, O. Majerus, J-L Dussossoy, A. Ledieu, S. A. Klimin, *Effect of Molybdenum and Ruthenium on the Crystallization Tendency of a New Nuclear Glass Containing High Rare-earth Concentration*, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIV, edited by K.L. Smith, S. Kroeker, B. Uberuaga, K.R. Whittle (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1265, Warrendale, PA, 2010)
  15. D. Caurant, O. Majerus, A. Quintas, I. Bardez, P. Loiseau, T. Charpentier, P. Vermaut, J.-L. Dussossoy, *Multispectroscopic study of a rare-earth rich aluminoborosilicate glass with relationship to its crystallization properties*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.13
  16. D. Caurant, A. Quintas, O. Majerus, T. Charpentier, P. Loiseau, *Structural and Crystallization Study of a Simplified Aluminoborosilicate Nuclear Glass Containing Rare-earths: Effect of ZrO<sub>2</sub> Concentration*, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIV, edited by K.L. Smith, S. Kroeker, B. Uberuaga, K.R. Whittle (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1265, Warrendale, PA, 2010)
  17. D. Caurant, O. Majerus, E. Fadel, M. Lenoir, C. Gervais, T. Charpentier, D. Neuville, *Structural characterization of SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O-CaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MoO<sub>3</sub> glasses*
  18. O. Majerus, D. Caurant, A. Quintas, J.-L. Dussossoy, Isabelle Bardez, Pascal Loiseau, *Effect of boron oxide addition on the Nd<sup>3+</sup> environment in a Nd-rich soda-limealuminoborosilicate glass*, Journal of Non-Crystalline Solids 357 (2011) 2744–2751
  19. Z. S. Cetinera, S. A. Wooda, C. H. Gammons, *The aqueous geochemistry of the rare earth elements. Part XIV. The solubility of rare earth element phosphates from 23 to 150 °C*, Chemical Geology 217 (2005) 147– 169
  20. I-T. Chen, *Nuclear Waste Glasses*, <http://large.stanford.edu/courses/2011/ph241/chen2/>, 2011
  21. N. Chouard, D. Caurant, O. Majerus, J-L. Dussossoy, R. Baddour-Hadjean, J-P. Pereira-Ramos, *Effect of neodymium and molybdenum addition on the structure and crystallization tendency of a SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.12
  22. D. R. Clarke, *Ceramic materials for the immobilization of nuclear waste*, Ann. Rev. Mater. Sci. 1983. 13: 191-218
  23. P. Colombo, G. Brusatin, E. Bernardo, G. Scarinci, *Inertization and reuse of waste materials by vitrification and fabrication of glass-based products*, Current Opinion in Solid State and Materials Science 7 (2003) 225–239
  24. L. Cormier, O. Dargaud, N. Menguy, A. Duguй, M. Guignard, L. Galois, G. Calas, *Structural Role of Nucleating Elements (Zr, Ti and Ni) During Glass Nucleation:*

- Influence on Physical Properties*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp. 11-12
25. C.N. Santos, D. D. S. Meneses, P. Echegut, D.R. Neuville, A.C. Hernandez, A. Ibanez, *Structural, dielectric, and optical properties of yttrium calcium borate , glasses*, Applied physics letters 94, 151901 (2009)
  26. H Deters, A.S.S. de Camargo, C.N. Santos, C.R. Ferrari, A.C. Hernandez, A. Ibanez, M.T. Rinke, H. Eckert, *Structural Characterization of Rare-Earth Doped Yttrium Aluminoborate Laser Glasses Using Solid State NMR*, J. Phys. Chem. C 2009, 113, 16216–16225
  27. Y. Dwivedi, A. Bahadur, S.B. Rai, *Spectroscopic study of Sm:Ce ions co-doped in barium fluoroborate glass*, Journal of Non-Crystalline Solids 356 (2010) 1650–1654
  28. W. Donald, B. L. Metcalfe, R. N. J. Taylor, *Review: The immobilization of high level radioactive wastes using ceramics and glasses ,* Journal of materials science 32 (1997) 5851–5887
  29. A.A. Dymnikov, A.K. Przhhevuskii, *Classification of Stark structure in spectra of Nd-doped glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids 215 (1997) 83-95
  30. Rare-earth-doped glasses: a list of references, [http://www.efonga.org/Active%20Glasses\\_references.pdf](http://www.efonga.org/Active%20Glasses_references.pdf)
  31. R. C. Ewing, *Nuclear waste forms for actinides*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 96, pp. 3432–3439, March 1999
  32. F. Farges, G. E. Brown Jr., *Coordination Environments of Highly Charged Cations (Ti, Cr, and Light REE's) in Borosilicate Glass/Melts to 1120°C*, Contributed to 13th International Conference On X-Ray Absorption Fine Structure (XAFS13), July 9-14, 2006, Stanford, California
  33. J. A. Fortnera, E. C. Buck, *The chemistry of the light rare-earth elements as determined by electron energy loss spectroscopy*, Appl. Phys. Lett. 68 (26), 24 June 1996, 3817-3819
  34. C. W. Forsberg, *Recovery of fissile materials from nuclear wastes, us patent 8964761*,
  35. W.A. Franke, *Von der Entdeckung der Radioaktivität zur Nutzung der Kernenergie Das Problem der radioaktiven Abfälle*, Vorlesung 2010
  36. P. Frugier, S. Gin, Y. Minet, T. Chave, B. Bonin, N. Godon, J.-E. Lartigue, P. Jollivet, A. Ayrat, L. D Windt, G. Santarin, *SON68 nuclear glass dissolution kinetics: Current state of knowledge and basis of the new GRAAL model*, Journal of Nuclear Materials 380 (2008) 8–21
  37. G. Calas, L. Galois, L. Cormier, S. Peugeot, J-M Delaye, P. Jollivet, *Structural Evolution of Nuclear Glasses under Forcing Conditions (Alteration, Irradiation)*, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIV, edited by K.L. Smith, S. Kroeker, B. Uberuaga, K.R. Whittle (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1265, Warrendale, PA, 2010)

38. L. Galois, G. Calas, L. Cormier, *The environment of transition elements in oxide glasses*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.14
39. K. Gatterer, G. Pucker, W. Jantscher, H.P. Fritzer, S. Arafa, *Suitability of Nd(III) absorption spectroscopy to probe the structure of glasses from the ternary system Na<sub>2</sub>O-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>*, Journal of Non-Crystalline Solids 231 (1998) 189±199
40. D. Gombert, J. Roach, *Optimizing High Level Waste Disposal*, 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, 2005
41. E. D. Guire, *Stuffing Nuclear waste glasses*, <http://ceramics.org/ceramicstechnology/2011/09/21/stuffing-nuclear-waste-glasses/>, 2011
42. N. H. Hamodi, Y. Iqbal, *Glass melting techniques used in radioactive waste Immobilization*, J. Pak. Mater. Soc. 2009, 3 (2), 47-57
43. P. Hrma, J. Alton, T. Plaisted, J. Klouzek, J. Matyas, M. Mika, P. Schill, M. Trochta, L. Nemeč, *Increasing high-level waste loading in glass without Changing the baseline melter technology*, WM'01 Conference, February 25 - March 1, 2001, Tucson, AZ
44. P. Hrma, A. A. Kruger, *Crystallization in Multicomponent Glasses*, <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/966149-fH7T4b/966149.pdf>
45. S. Iftekhhar, J. Grins, P. N. Gunawidjaja, M. Ede'n, *Glass Formation and Structure–Property–Composition Relations of the RE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> (RE=La, Y, Lu, Sc) Systems*, J. Am. Ceram. Soc., 94 [8] 2429–2435 (2011)
46. C. M. Jantzen, K. G. Brown, J. B. Pickett, *Durable Glass for Thousands of Years*, International Journal of Applied Glass Science 1 [1] 38–62 (2010)
47. Karamanov, M. Aloisi, M. Pelino, *Sintering behaviour of a glass obtained from MSWI ash*, Journal of the European Ceramic Society 25 (2005) 1531–1540
48. Karamanov, M. Aloisi, M. Pelino, *Vitrification of copper flotation waste*, Journal of Hazardous Materials 140 (2007) 333–339
49. Karamanov, *Granite like materials from hazardous wastes obtained by sintercrystallisation of glass frits*, Advances in Applied Ceramics 2009, VOL 108, NO 1, 14-21
50. N. N. Khimich, G. M. Berdichevskii, E. N. Poddenezhnyi, V. V. Golubkov, A. A. Boiko, V. M. Ken'ko, O. B. Evreinov, and L. A. Koptelova, *Sol–Gel Synthesis of an Optical Silica Glass Doped with Rare-Earth Elements*, Glass Physics and Chemistry, 2007, Vol. 33, No. 2, pp. 152–155
51. US Patent 4,860,544, 1989
52. S. P. Kumar, G. Buvanewari, R. R. Madhavan, K. V. G. Kutty, *Encapsulation of Heterovalent Ions of Two Simulated High-Level Nuclear Wastes and Crystallization into*



- Single-Phase NZP-Based Wasteforms*, Radiochemistry, 2011, Vol. 53, No. 4, pp. 421–429
53. Gauthier, P. Le Coustumer, M. Motelica, O.F.X. Donard, *Real time alteration of a nuclear waste glass and remobilization of lanthanide into an interphase*, Waste Management 20 (2000) 731-739
54. Y. Ledemi, D. Manzani, S. J. L. Ribeiro, Y. Messaddeq, C. V. De Aгађjo, *Near infrared broadband luminescence in bismuth doped chalcogenide glasses*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.21
55. H. Li, L. Li, J.D. Vienna, M. Qian, Z. Wang, J.G. Darab, D.K. Peeler, *Neodymium(III) in alumino-borosilicate glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids 278 (2000) 35-57
56. D. de Ligny, G. Panczer, D. Caurant, D.R. Neuville, *Contribution of neodymium optical spectroscopy to the crystal growth study of a silicate apatite in a glassy matrix*, Optical Materials 30 (2008) 1694–1698
57. P. Loiseau, D. Caurant, N. Baffier, C. Fillet, *Neodymium partitioning in zirconolite-based glass-ceramics designed for minor actinides immobilization*, "Atalante 2000 (les recherches scientifiques sur l'aval du cycle pour le 21eme siècle), Avignon : France (2000)"
58. P. Loiseau, D. Caurant, O. Majerus, N. Baffier, C. Fillet, *Crystallization study of (TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>)-rich SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO glasses*, Journal of materials science 38 (2003) 843– 852
59. P. Loiseau, D. Caurant, *Glass–ceramic nuclear waste forms obtained by crystallization of SiO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–CaO–ZrO<sub>2</sub>–TiO<sub>2</sub> glasses containing lanthanides (Ce, Nd, Eu, Gd, Yb) and actinides (Th): Study of the crystallization from the surface*, Journal of Nuclear Materials 402 (2010) 38–54
60. H. Lacy, *Synroc*, <http://www.eoearth.org/article/Synroc>, 2010
61. Luckscheiter and M. Nesovic, *Development of glasses for the Vitrification of high level liquid waste (hllw) in a joule heated ceramic melter*, Waste Management. Vol. 16. No. 7, pp. 571 578. 1996
62. J. S. Luo, W. L. Ebert, *Microstructural characterization of halite inclusions in a glass-bonded ceramic waste form*, American Ceramics Society 102nd Annual Meeting & Exposition St. Louis, MO, 2001
63. O. Majerus, D. Caurant, N. Li, J-B Beaudouin, G. Manolescu, P. Barboux, T. Charpentier, D. de Ligny, *Structure and alteration kinetics of rare-earth rich borosilicate glasses with (64 – 2x) SiO<sub>2</sub> / 18 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / 18 Na<sub>2</sub>O / x RE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composition (RE = Y or Eu+ La)*, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIV, edited by K.L. Smith, S. Kroeker, B. Uberuaga, K.R. Whittle (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1265, Warrendale, PA, 2010)
64. E. Malchukova, B. Boizot, G. Petite, D Ghaleb, *Irradiation effects in oxide glasses doped with transition and rare-earth elements*,

65. J. C. Marra, C. L. Crawford, K. M. Fox, S. V. Stefanovsky, *Evaluating the solubility and homogeneity of plutonium in an alkali borosilicate glass*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.31
66. J. Matyáš, J. Crum, J. Vienna, A. Arrigoni, M. Schaible, R. Tate, C. Rodriguez, *Development of Crystal-Tolerant High-Level Waste Glasses*, U.S. Department of Energy, Contract DE-AC05-76RL01830, 2010
67. Y. I. Matyunin, A. V. Demin, T. V. Smelova, *Behavior of uranium and rare-earth elements in glasses synthesized in an induction melter with a cold crucible*, Atomic Energy, Vol 83. No 5. 1997
68. Monteil, S. Chaussedent, G. Alombert-Goget, N. Gaumer, J. Obriot, S.J.L. Ribeiro, Y. Messaddeq, A. Chiasera, M. Ferrari, *Clustering of rare earth in glasses, aluminum effect: experiments and modeling*, Journal of Non-Crystalline Solids 348 (2004) 44–50
69. S. Morgan, R. J. Hand, N. C. Hyatt, W. E. Lee, *Interactions of simulated high level waste (HLW) calcine with alkali borosilicate glass*,
70. R. Müller, S. Reinsch, *Viscous Phase Silicate Processing*, “Processing Approaches for Ceramics and Composites” in (Narottam Bansal and Aldo R. Boccaccini, Editors) John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, U.S.A.
71. Palke, *Ceramic Materials for Long-Term Sequestration of Radioactive Waste*, <http://large.stanford.edu/courses/2011/ph241/palke2/>, 2011
72. Y. Pan, M. E. Fleet, N. D. Macrae, *Late alteration in titanite (CaTiSiO<sub>5</sub>): Redistribution and remobilization of rare earth elements and implications for U / Pb and Th / Pb geochronology and nuclear waste disposal*, Geochimica et Cosmochimica Acta Vol. 51, pp. 355-367
73. Park, H. Li, L. R. Corrales, *Molecular dynamics simulation of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub> glasses. I. The structural role of La<sup>3+</sup> cations*, Journal of Non-Crystalline Solids 297 (2002) 220–238
74. Pařlick, B. Ahrens, B. Henke, J.A. Johnson, S. Schweizer, *Crystallization behavior of rare-earth doped fluorochlorozirconate glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids, 357 (2011) 2450–2452
75. E. Pilegrin, G. Calas, Ph. Ildefonse, P. Jollivet, L. Galois, *Structural evolution of glass surface during alteration: Application to nuclear waste glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids 356 (2010) 2497–2508
76. O. Pinet, J.L. Dussossoy, C. David, C. Fillet, *Glass matrices for immobilizing nuclear waste containing molybdenum and phosphorus*, Journal of Nuclear Materials 377 (2008) 307–312
77. O. Pinet, I. Hugon, S. Mure, *Redox control of nuclear glass*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.31

78. M.Premila, <http://msg.igcar.gov.in/mpd/mps/index.php?id=113>
79. Quintas, O. Maje'rus, and D. Caurant, *Crystallization of a Rare Earth-Rich Aluminoborosilicate Glass With Varying CaO/Na<sub>2</sub>O Ratio*, J. Am. Ceram. Soc., 90 [3] 712–719 (2007)
80. A.Quintas, T.Charpentier, O.Majerus, D.Caurant, J-L.Dussossoy, P.Vermaut, NMR Study a Rare - Earth Aluminoborosilicate Glass with Varying CaO to Na<sub>2</sub>O Ratio, Appl. Magn. Reson., (2007), 32, 613-634
81. Quintas, D. Caurant, O. Maj'rus, T. Charpentier, J-L. Dussossoy, *Effect of the nature of alkali and alkaline-earth oxides on the structure and crystallization of an aluminoborosilicate glass developed to immobilize highly concentrated nuclear waste solutions*, International Conference Atalante 2008. Nuclear Fuel Cycles for a Sustainable Future, Montpellier : France (2008)
82. Quintas, O. Maje'rus, M. Lenoir, D. Caurant, K. Klementiev, A. Webb, *Effect of alkali and alkaline-earth cations on the neodymium environment in a rare-earth rich aluminoborosilicate glass*, Journal of Non-Crystalline Solids 354 (2008) 98–104
83. Quintas, D. Caurant, O. Maj'rus, J-L. Dussossoy, T. Charpentier, *Effect of changing the rare earth cation type on the structure and crystallization behavior of an aluminoborosilicate glass*,
84. Quintas, D. Caurant, O. Maj'rus, T. Charpentier, J-L. Dussossoy, *Effect of the nature of alkali and alkaline-earth oxides on the structure and crystallization of an aluminoborosilicate glass developed to immobilize highly concentrated nuclear waste solutions*, ATALANTE 2008 Montpellier (France) May 19-22, 2008
85. S. V. Raman, *Microstructures and leach rates of glass -ceramic nuclear waste forms developed by partial vitrification in a hot isostatic press*, Journal of materials sciences 33 (1998) 1887 - 1895
86. R. D. Rawlings, J. P. Wu, A. R. Boccaccini, *Glass-ceramics: their production from wastes. A review*, Department of Materials, Imperial College London Prince Consort Road, London SW7 2BP, United Kingdom
87. R. Boccaccini, R. D. Rawlings, W. E. Lee, D. Amutha Rani, E. Gomez, D. Deegan, C R Cheeseman J P Wu C Dimech, *Glasses and glass-ceramics from recycled silicate waste materials*, Department of Materials Imperial College London, London SW7 2BP, UK, 2006
88. C.S. Ray, X. Fang, M. Karabulut, G.K. Marasinghe, D.E. Day, *Effect of melting temperature and time on iron valence and crystallization of iron phosphate glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids 249 (1999) 1-16
89. S.T. Reis, J.R. Martinelli, *Cs immobilization by sintered lead iron phosphate glasses*, Journal of Non-Crystalline Solids 247 (1999) 241-247
90. C.Brookes, M. Harrison, A. Riley, C. Steele, *The Effect of Increased Waste Loading on the Durability of High Level Waste Glass*, Scientific Basis for Nuclear Waste

- Management XXXIV, edited by K.L. Smith, S. Kroeker, B. Uberuaga, K.R. Whittle (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1265, Warrendale, PA, 2010)
91. Riley, J. Marra, F. Raszewski, A. Buechele, J-L Dussossoy, R. Hand, R. Short, C. Leonelli, M. Mika, J. Vienna, *Liquidus Temperature Round-Robin Testing for Waste Glasses*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.33
  92. T. Russel, R. Aroian, M. Arghavani, K. Nock, *Lead-Iron Phosphate Glass: A Stable Storage Medium for High-Level Nuclear Waste*, SCIENCE, VOL. 226, 45-48
  93. R. Santos, L.F. Santos, R M. Almeida, *Optical and spectroscopic properties of Er-doped niobium germanosilicate glasses and glass ceramics*, Journal of Non-Crystalline Solids 356 (2010) 2677–2682
  94. R. S. Sapiieszko, *Minerals and methods for their production and use*, <http://osdir.com/patents/Chemistry-inorganic/Minerals-methods-production-06969501.html>, 1997
  95. A.P. da Silva, Z.M. da Costa Ludwig, M.J.V. Bell, V. Anjos, S.T. Reis, *Thermal Properties of Iron Phosphate Glasses for Nuclear Waste Applications*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.33
  96. S. V. Stefanovsky, V. V. Lebedev, S. Y. Shvetsov, D. Y. Suntsov, O. A. Knyazev, J. C. Marra, *Summary of cold crucible vitrification tests results with savannah river site high level waste surrogates*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.32
  97. L. Stoch, *Crystallochemical aspects of structure controlled processes in oxide glasses*, Optica Applicata, Vol. XXXVIII, No. 1, 2008
  98. J. Tripp, V. Maio, *Evaluation of the Use of Synroc to Solidify the Cesium and Strontium Separations Product from Advanced Aqueous Reprocessing of Spent Nuclear Fuel*, Idaho National laboratory
  99. C.Utton, N. C. Hyatt, S. Swanton, S. Williams, R. J. Hand, *Durability of a simulant ilw glass in a high ph environment*, Program and Book of Abstracts, XXII International Congress on Glass, Bahia – Brazil, 20-25 Sep. 2010, pp.31
  100. E.R. Vance, C.J. Ball, B.D. Begg, M.L. Carter, R. A. Day, and G.J. Thorogood, *Pu, U, and Hf Incorporation in Gd Silicate Apatite*, J. Am. Ceram. Soc., 86 [7] 1223–25 (2003)
  101. N. N. Vinogradova, L. N. Dmitruk, and O. B. Petrova, *Glass Transition and Crystallization of Glasses Based on Rare-Earth Borates*, Glass Physics and Chemistry, Vol. 30, No. 1, 2004, pp. 1–5.

102. Z-L. Wang, G-R. Li, Y-N. Ou, Z-P. Feng, D-L. Qu, Y-X. Tong, *Electrochemical Deposition of Eu<sup>3+</sup>-Doped CeO<sub>2</sub> Nanobelts with Enhanced Optical Properties*, J. Phys. Chem. C 2011, 115, 351–356
103. W. J. Weber et.al. , *Radiation effects in crystalline ceramics for the immobilization of high-level nuclear waste and plutonium*, J. Mater. Res., Vol. 13, No. 6, Jun 1998, 1434-1484
104. K. Whittle, M. Blackford, R. Aughterson, K. L. Smith, G. R Lumpkin, N. J. Zaluzec, *Ion Beam Irradiation of Lanthanum Compounds in the Series La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>*, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIV, edited by K.L. Smith, S. Kroeker, B. Uberuaga, K.R. Whittle (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1265, Warrendale, PA, 2010)
105. M.-S. Yim and K. L. Murty, *Materials Issues in Nuclear-Waste Management*, JOM, 52 (9) (2000), pp. 26-29
106. Y. Zhang, A. Navrotsky, J. A. Tangeman, J. K. Richard Weber, *Thermochemistry of glasses along the 2NdAlO<sub>3</sub>-3SiO<sub>2</sub> join*, J. Phys.: Condens. Matter **15** (2003) S2343–S2355
107. Zhu, A. Monteil, M. E.I-Jouad, N. Gaumer, S. Chaussement, *Influence of Thermal Treatment on Optical and Structure Properties of Europium-Doped SiO<sub>2</sub>-HfO<sub>2</sub> Glasses*, J. Am. Ceram. Soc., 93 [4] 1039–1043 (2010)
108. P. Zimmer, *Bildung von Sekundärphasen bei der Korrosion von verglasten Nuklear-Abfällen*, Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), 2003

### ДҮГНЭЛТ

- Лугийн голын карбонатитын хүдрийн биет нь цахиур, калий, фтор, нүүрсхүчлийн хий ихтэй, фосфор бага, хлор бараг байхгүй. Хүдрийн биет дэх газрын ховор элементийн агуулга харилцан адилгүй бөгөөд фтор карбонатитын судалд 1.67 - 5.8% байхад зарим дээжинд 4 - 11.2% хүртэл илэрдэг.
- Мушгай худгийн орд газарт газрын ховор элемент агуулсан хүдрийн гол биет нь шүлтийн комплекс, карбонатит, апатит бөгөөд зөвхөн дөрвөн биет дээр хийсэн өрөмдлөгийн дээжлэлтээс үзэхэд карбонатитын хүдэрт ГХЭ -ийн нийлмэл исэл ( $TR_2O_3$ ) 2.0 - 9.0%, апатитын хүдэрт 4.0 - 14.0% агуулгатай байв.
- Лабораторийн туршилтын дүнгээс үзэхэд Мушгай худаг, Лугийн голын хүдрийн биетээс 68 – 70 % болон 58 – 90 %-ийн ГХЭ -ийн баяжмал гаргах боломжтой. Баяжмалыг химийн аргаар ялган церийн бүлгийн (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu г.м) элементүүдийг 80 - 90% цэвэршүүлэх боломжтой юм.
- ГХЭ –ийн агуулга найрлага бүхий материалын судалгаа явуулах, тэдгээрийн хэрэглээг турших зорилгоор төсөлт ажлын хүрээнд ГХЭ –ээр хольцлон хайлуулсан шилний шинж чанарыг өөрчлөх туршилт, ГХЭ –ээр хольцолсон малын нэмэлт тэжээл турших ажлыг гүйцэтгэлээ.
- La, Nd, Ce –ээр хольцолсон шилэнд люминесценц ажиглагдаж байгаа ба Ce хамгийн сайн үйлчлэлтэй байна.
- ГХЭ –ээр хольцолсон малын нэмэлт тэжээл туршин үзэхэд төлөг мал 10 – 30 % хүртэл илүү жин авч байв. Ийм нэмэлт тэжээлийн туршилт, үйлдвэрлэлийн цех байгуулах ажил хийгдэж байна.
- ГХЭ -ийн бэлэн, хагас бэлэн бүтээгдэхүүнийг дэлхийн зах зээлд гаргах ба эх орны электрон техникийн үйлдвэрт тогтмол соронзон, хагас дамжуулагч, люминесценцийн материал, малын нэмэлт тэжээл зэргийг үйлдвэрлэх түүхий эдийн нөөц болгон ашиглах боломжтой болох юм.

Төслийн хүрээнд хэвлэгдсэн ажил

1. E.Nyamdavaa, P .Altantsog, E.Uyanga, B.Bumaa, T .Y.Chen, C .H. Lee, G .Sevjidsuren, D.Sangaa, *Crystal structure study of Perovskite-type LaCoO<sub>3</sub> electro-catalyst synthesized by Pechini method*, Proceedings of 6th International Forum on Strategic Technology, Harbin, China, p. 61-65, 2011
2. Zhang Yi-Ming, P.Altantsog, Xu Tao, Zhang Li-Feng, G.Chadraabal, L.Lkhagvasuren, Ch.Tseren, Hao Qian , G.Sevjidsuren, Zhang Yu-Sheng, W.Rambeck, *Determination of Rare Earth Residues in Mongolian Sheep Fed Rare Earth Compound Additive by ICP – MS*, Proceedings of the 16th Meeting of the European Society of Veterinary and Comparative Nutrition, ESVCN Conference, Bydgoszcz, Poland, Sep. 2012
3. Э.Нямдаваа, Ж.Оюун, П.Алтанцог, *Халзан Бүргэдэйн цирконт боржингийн дээжинд ГХЭ тодорхойлсон судалгаа*, ФТХ-ийн бүтээл, 54 -57, №36, 2009
4. Э.Нямдаваа, Г.Сэвжидсүрэн, П.Алтанцог, *Перовскит төстэй LaCoO<sub>3</sub> нэгдлийн Печини синтез, түүний кристалл бүтцийн судалгаа*, ФТХ-ийн бүтээл, №37, 2010
5. П.Алтанцог, Т.Баяраа, М.Цэрэнчимэд, М.Тамара, Г.Сэвжидсүрэн, М.Лувсанпэрэнлэй, Э.Нямдаваа, Ш.Чадраабал, Г.Батдэмбэрэл, *Газрын ховор элементээр хольцолсон шилний оптик шинж чанар*, ФТХ-ийн бүтээл, №37, 2010