



## Чандмань-Уул ордын төмрийн хүдрийг хуурай соронзон болон нойтон соронзон аргаар баяжуулах технологийн судалгаа

Б.Өнөрсайхан, Д.Баасанжав, Н.Сугир-Эрдэнэ, Б.Оргилбаяр, С.Сүхбат, Ц.Соёлмаа, Ц.Загарзүсэм, Э.Отгонжаргал\*

*Шинжлэх ухааны академи, Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Улаанбаатар 13330, Монгол улс*

\*E-mail: otgonjargale@mas.ac.mn

Хүлээн авсан: 20.10.2019

Хяналтанд: 21.10.2019

Хэвлэлтэнд авсан: 25.12.2019

**Хураангуй:** Төмрийн хүдрийг лабораторийн нөхцөлд хуурай болон нойтон соронзон баяжуулалтын хосолсон аргаар баяжуулсан. Нойтон соронзон баяжуулалтын нунтаглалтын хугацаа 20, 30, 40, 50 мин, 0.074 мм-ийн ангилал харгалзан 43.5%, 55.7%, 72.7%, 85.2%-тай байхад соронзон орны 1-5А гүйдлийн хүч зэргээс хамааруулан стандарт баяжмал гарган авах технологийн зохистой горимуудыг тогтоосон. Анхдагч хүдэр дэх төмрийн агуулга 43.59% байсан бол туршилт судалгааны үр дүнд төмрийн агуулга 65.60% болж 96.93%-ийн металл авалттай төмрийн баяжмал гарган авсан. Иймд хуурай, нойтон соронзон баяжуулалт хосолсон схемээр төмрийн хүдрийг баяжуулах нь цаашид металлургийн үйлдвэрийн шаардлага хангасан өндөр цэвэршилттэй төмрийн баяжмал гарган авах боломжтой гэж үзэв.

**Түлхүүр үг:** Төмрийн хүдэр, хуурай соронзон баяжуулалт, нойтон соронзон баяжуулалт, төмрийн баяжмал.

### ОРШИЛ

Монгол Улсын нутаг дэвсгэрт төмрийн хүдрийн 16 бүс, дүүргийн хүрээнд төмрийн хүдрийн нөөц А+В+С зэрэглэлээр 1 тэрбум орчим тонн, ерөнхий баялгийн хэмжээ 5.5 тэрбум тонноор хэмжигдэж байна. Үүнд 20-55%-ийн төмрийн дундаж агуулгатай 300 орчим орд, илрэл, эрдэсжсэн цэг илрүүлсэнээс 50 саяаас дээш нөөц баялагтай Төмөртэй, Баянгол, Баргилт, Чандмань-Уул, Тамирын гол зэрэг ордууд байна [1]. Скарны (хил заагийн метасоматоз) гаралтай ордууд нь тунамал, вулканоген-тунамал болон метаморф чулуулагт үүссэн янз бүрийн хэмжээнд хүдэржсэн скарн ба скарноидын төрлүүдээс бүрдэх ба эдгээр нь нийлмэл тогтоц бүхий давхарга, мэшил хэлбэрийн магнетитын хүдрийн биетүүдийг үүсгэнэ. Ийм төрлийн ордуудад Казахстан улсын Соколов, Качар, Сарбай, ОХУ-ын Высокогора, Гороблагодать, Абакан, Таштагол, Перу улсын Маркана, БНХАУ-ын Мааншань, АНУ-ын Маунт Айрон, Ираны Чогарит, Чадормалю, Монгол Улсын Төмөртэй, Баянгол, Төмөртолгой, Таяннуур, Баргилт, Чандмань уул гэх мэт ордууд хамаарагдана [2]. Эдгээрээс гематит, мартит, гидрогетит зэрэг төмрийн усан исэл агуулсан, технологийн хүндрэл үүсгэдэг шинж чанар дээр үндэслэн Чандмань-Уул ордын төмрийн хүдрийг сонгон туршилт судалгаандаа ашиглав. Уг ордын төмрийн хүдрийн геологийн нөөц 213 сая/тн-оор тоймлогдсон байдаг. Хүдрийн биет нь 1.1-1.5 км орчим урт, 10-100 м өргөн бөгөөд скарн магнетитын төмрийн дундаж агуулга 40-45 хувь байдаг ажээ [3].

Ихэнхдээ төмрийн хүдрийг соронзон аргаар баяжуулах бөгөөд соронзон сепараторуудыг ажиллах зарчимаар туузан соронзон сепаратор (CBMS), индукцэн булт соронзон сепаратор (IRMS), өргөгч булт соронзон сепаратор (LRMS), тогтмол соронзон булт соронзон сепаратор (RERMS), хүрдэн соронзон сепаратор (RED) гэж ангилдаг [4]. Туузан соронзон сепаратор (CBMS) ашиглан хромитын ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ) хүдрээс төмрийг салгаж хромитын баяжмал гарган авах, төмрийн агуулга өндөртэй магнетитийн хүдрийг сул соронзон аргаар тогтмол соронзон булт сепаратор (RERMS) ашиглан баяжуулах зэрэг судалгааны ажлууд хийгдсэн байдаг [5,6].

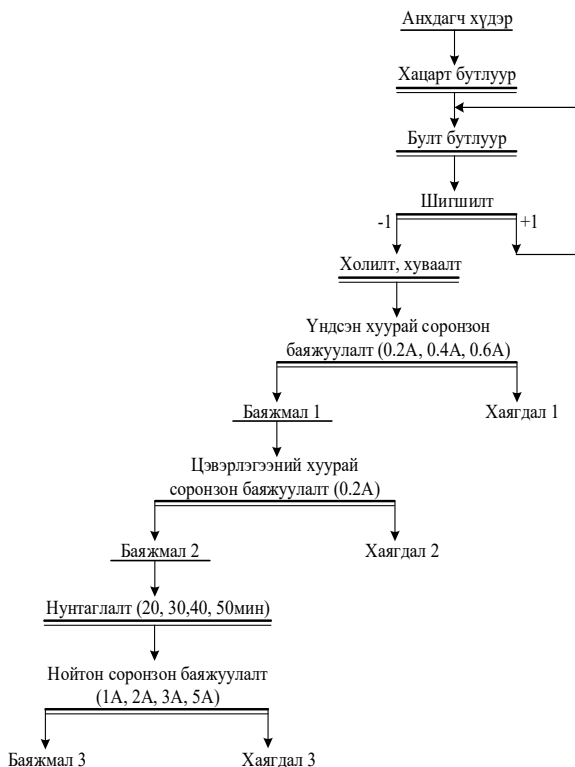
Бидний ажлын зорилго нь лабораторийн нөхцөлд Чандмань-Уул ордын төмрийн хүдэрт эрдсийн болон химийн найрлагын бүрэн шинжилгээ хийж, индукцийн булт соронзон сепаратор (IRMS) болон полиградиент нойтон соронзон сепаратор ашиглан соронзон шинж чанар багатай төмрийн хүдрийг баяжуулж стандартын шаардлага хангасан төмрийн баяжмал гарган авахад оршино.

### СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Дорноговь аймгийн Дэлгэрэх сумын төвөөс баруун зүгт 15 км зайд орших Чандмань-Уул ордын төмрийн хүдрээс төлөөлөх дээжийг 2018 оны 08-р сард авч эрдсийн найрлагын судалгаа болон химийн бүрэн шинжилгээг хийж лабораторийн нөхцөлд технологийн туршилт судалгааны ажлыг явуулав.

Төмрийн хүдрийн дээжийг анхан шатны хацарт

бутлуур, хоёр дахь шатны булт бутлуурт оруулан - 1мм хүртэл буглан шигшиж хүдэр бэлтгэх процессыг гүйцэтгэв. Хуурай соронзон баяжуулалтыг Английн “Roxmag Rapid” компанид үйлдвэрлэсэн индукцийн булт соронзон сепараторт 0.2А, 0.4А, 0.6А, нойтон соронзон сепаратор ашиглан баяжуулах туршилтыг соронзон орны



Зураг 1. Төмрийн хүдэр баяжуулах технологийн ерөнхий схем

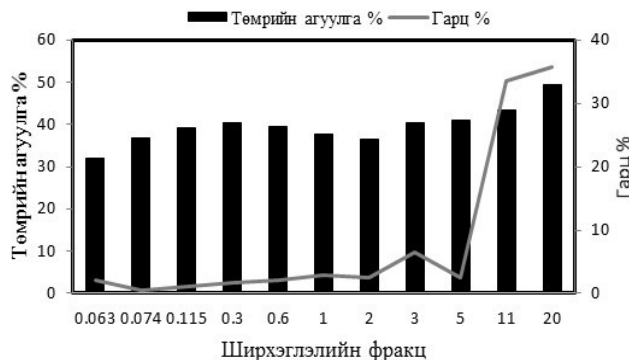
хүчдлийн 1А, 2А, 3А, 5А гэсэн утгуудад явуулсан. Эрдэс хүдэр, чулуулгийн найрлагыг минералогическийн шинжилгээгээр тодорхойлсон ба хүдэр, баяжмалын элементийн шинжилгээг уламжлалт аргаар болон багажит шинжилгээний арга ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry)-аар, эрдсийн найрлагыг сканнинг электрон микроскоп (SEM-EDX), рентген диффрактометр (XRD) (Philips PW1800) аргуудаар судалж үр дүнг нэгтгэв. Чандмань-Уул ордын төмрийн хүдрийг баяжуулах технологийн схемийг Зураг 1-д үзүүлэв.

### ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Чандмань-Уул ордын төмрийн хүдрээс төлөөлөх дээж авч хими, эрдэс хүдэр, чулуулгийн найрлагыг тодорхойлов. Минералогическийн болон петрографическийн шинжилгээний үр дүнгээс харахад хүдрийн эрдсүүдийн чулуулаг тодорхой хэмжээгээр урт тэнхлэгээрээ нэг зүг чиглэн байрлаж сул занарлаг текстурьг илэрхийлсэн кварц, карбонат, хүдрийн эрдсээс тогтсон байна. Хүдэрт зонхилох эрдсүүд нь магнетит, гематит, маргит, гетит, гидрогетит зэрэг

байна.

Химийн шинжилгээний дүнгээс харахад тус ордын анхдагч хүдрийн төмрийн агуулга Fe - 43.59%,



Зураг 2. Шигшүүрийн шинжилгээний дүн

хортой хольц болох хүхрийн агуулга - 0.26%, фосфор <0.1% байгаа нь титрийн болон багажит анализын үр дүнгээр батлагдаж байна.

### 3.1. Шигшүүрийн шинжилгээ

Төмрийн хүдрийн дээжинд шигшүүрийн шинжилгээг -20+11 мм; -11+5 мм; -5+3 мм; -3+2 мм; -2+1 мм; -1+0.6 мм; -0.6+0.3 мм; -0.3+0.115 мм; -0.115+0.074 мм; -0.074+0.063 мм; фракцуудад хуваан тус бүрийн ширхэглэлийн фракц дахь төмрийн агуулгыг уламжлалт химийн аргаар тодорхойлсон. Уг шинжилгээний үр дүнгээс (Зураг 2) харахад нийт ширхэглэлийн фракцууд дээр төмрийн агуулга жигд тархсан байна.

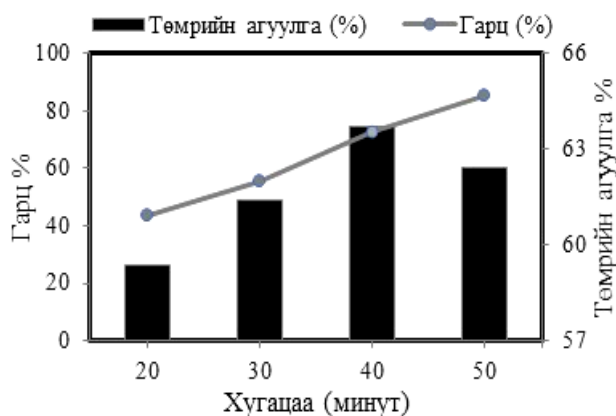
### 3.2. Нунтаглалтын горим тогтоох туршилт

Нойтон соронзон баяжуулалт явуулахын тулд 0.074 мм фракцийн агуулга 70% хүрсэн байх шаардлагатай тул нунтаглалтын горим тогтоох туршилт хийв (Зураг 3). Нунтаглалтын горим тогтоох туршилтыг 1кг дээж, 1л ус, 6кг ган бөмбөлгийн харьцаатайгаар явуулав. Нунтагласан дээж тус бүрийг 2А, 10В хүчдэлтэйгээр нойтон соронзон сепаратороор ялган нунтаглалтын горимыг тогтоов.

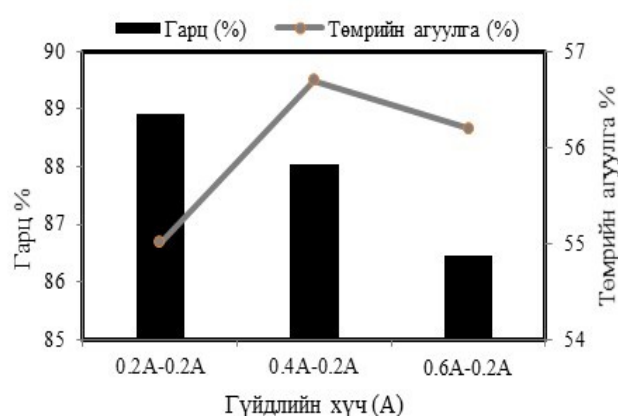
Туршилтын үр дүнгээс (Зураг 3) харахад дээжийг 40 минут нунтаглахад 0.074 мм фракцийн агуулга 73%, төмрийн агуулга 64%-д хүрсэн нь төмөр агуулагч эрдсүүд хүдрийн бус эрдсүүдээс салсан болох нь харагдаж байна. Хугацаа ихсэх тусам -0.074 мм фракцийн агуулга нэмэгдэж хэт нунтаглалт үүсэх хандлагатай бөгөөд туршилтын 50 дахь минутаас хэт нунтаглалт үүссэнээр баяжигдах процесст сөргөөр нөлөөлсөн байна.

### 3.3. Хуурай соронзон баяжуулалт

Төмрийн хүдрийг хуурай соронзон сепаратороор ялган авахын тулд соронзон ороомог дахь гүйдлийн хэмжээ болон булны эргэлт, бул хоорондын зайг тогтмол байхаар сонгов. Булны эргэлтийн хурд 32 эрг/мин, бул хоорондын зай 5 мм байхаар тохируулан үндсэн болон цэвэрлэгээний соронзон ялгалтаар



Зураг 3. Нунтаглалтын горим тогтоох туршилтын үр дүн



Зураг 4. Хуурай соронзон баяжуулалтын үр дүн

баяжмал хаягдлыг ялгав.

Анхдагч төмрийн хүдрийг үндсэн хуурай соронзон баяжуулалт явуулахын өмнө -1 мм хүртэл буталж, үндсэн баяжуулалтыг сепараторын гүйдлийн хүч 0.2A, 0.4A, 0.6A, цэвэрлэгээг 0.2A гүйдлийн хүч болгон тус бүр туршилтыг гүйцэтгэв.

Туршилтын үр дүнгээс харахад Чандмань-Уул ордын хувьд исэлдсэн хүдэр зонхилох тул үндсэн болон цэвэрлэгээний соронзон баяжуулалтын гүйдлийн утгуудыг 0.2A болон 0.2A, 0.4A болон 0.2A, 0.6A болон 0.2A гүйдэлд харгалзан 55.01%, 56.70%, 56.20% төмрийн агуулгатай, 92.71%, 94.29%, 89.61% металл авалттай баяжмалууд гарган авсан. Төмрийн баяжмалын чанарыг тодорхойлох үндсэн үзүүлэлт нь төмрийн агуулга бөгөөд уг туршилтаас үндсэн баяжуулалтыг 0.4A дээр цэвэрлэгээний баяжуулалтыг 0.2A дээрх утгыг сонгон авсан. Баяжуулалтанд агуулга болон гарц нь урвуу хамааралтай байдаг тул төмрийн агуулга нэмэгдэхэд гарц буурсан үзүүлэлт (Зураг 4) ажиглагдаж байна.

### 3.4. Нойтон соронзон баяжуулалт

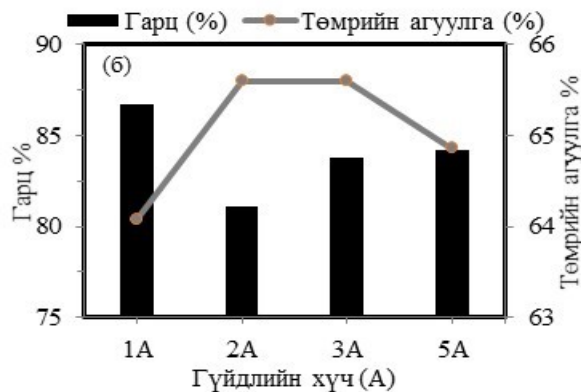
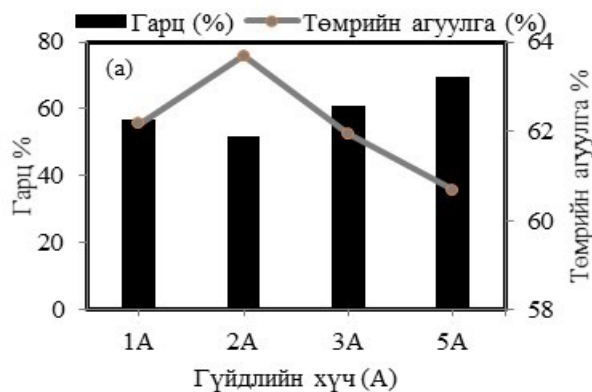
Анхдагч хүдэр болон хуурай соронзон ялгалтын баяжмалыг тогтоосон горимын дагуу 40 минут нунтаглан, нойтон соронзон сепараторын ялгалтанд соронзон гүйдлийн хүчийг өөрчлөх замаар туршилтад оруулав. Нойтон соронзон баяжуулалт

явуулахад дээжний ширхэглэл нь маш чухал нөлөө үзүүлдэг ба хүдэр, баяжмалын ширхэглэлийн 65%-с дээш хувийг 0.074 мм –ийн фракц эзэлж байвал баяжуулалтын үр дүн өндөр байна гэж үздэг.

Бид лабораторийн нөхцөлд Төмөр толгой болон Төмөртэйн ордын хүдэрт нойтон соронзон баяжуулалтын туршилт хийж байсан бөгөөд уг ордуудын баяжмал дах төмрийн агуулга  $Fe > 65\%$  байсан [7]. Туршилтын дүнгээс (Зураг 5) харахад анхдагч хүдрийг баяжуулсан баяжмалын хувьд 2A дээр төмрийн агуулга хамгийн өндөр утга буюу 63.69%, хуурай соронзон баяжуулалтаас гарсан баяжмалын хувьд 2A болон 3A дээр төмрийн агуулга 65.60%-тай ижил утга гарсан боловч 2A дээрх баяжмалын гарц 81.08%, металл авалт 93.81% байсан бол 3A дээрх баяжмалын гарц 83.78%, металл авалт 96.93%-ийг эзэлж байсан тул 3A дээр хамгийн үр ашигтай гэж тооцов. Иймд Чандмань уул ордын төмрийн хүдрээс  $Fe > 65\%$  стандартын шаардлага хангасан төмрийн баяжмал гарган авсан тул багажит анализын аргаар шинжлэн баталгаажуулах шаардлагатай гэж үзлээ.

### 3.5. Хүдэр, бүтээгдэхүүний элементийн шинжилгээний дүн

Анхдагч хүдэр болон хуурай соронзон, нойтон соронзон баяжуулалтын баяжмал, хаягдлуудын химийн найрлагын шинжилгээг ICP-MS-ийн аргаар



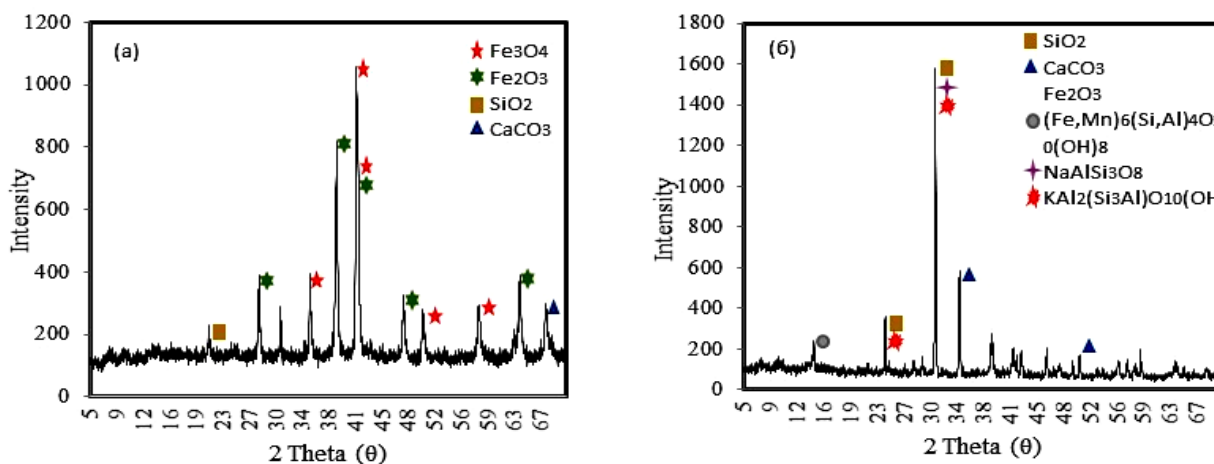
Зураг 5. Нойтон соронзон баяжуулалтын үр дүн. (a) – анхдагч хүдэр, (б) – хуурай соронзон баяжуулалтын баяжмал.

**Хүснэгт 1. Элементийн шинжилгээний үр дүн**

Бүтээгдэхүүн	Элемент,						
	Fe	Ca	Al	K	Mg	Mn	P
Анхдагч хүдэр	44.07	3.5	1.43	0.2	0.40	0.26	0.01
Нойтон соронзон баяжмал 3А	65.60	0.7	0.46	<0.1	0.13	0.11	<0.01
Нойтон соронзон хаягдал 3А	26.54	6.8	1.42	0.2	0.59	0.41	0.01
Хуурай Соронзон Баяжмал	56.70	1.7	0.68	0.1	0.19	0.16	0.04
Хуурай соронзон хаягдал	44.94	3.3	0.92	0.2	0.25	0.26	0.02

шинжлэв. Шинжилгээний дүнгээс харахад (Хүснэгт 1) 43.59%-ийн Fe-ийн агуулгатай анхдагч хүдэр хуурай болон нойтон соронзон баяжуулалтын дараа 65.60%-ийн агуулгатай баяжигдсан нь уламжлалт болон өмнөх туршилтуудын үр дүнг бататгаж байна. Төмрийн хүдэр дэх хортой хольцод хүхэр, фосфор,

магнетит, гематит, гётит, гидрогётит, кварц, кальцийн карбонат агуулагдаж байв. Анхдагч хүдрийг хуурай соронзон аргаар баяжуулсаны дараа баяжмал болон хаягдалд эрдсийн рентген диффрактометрийн шинжилгээгээр тодорхой ялгаа илрээгүй бөгөөд хаягдалд зөвхөн кварцын пик



**Зураг 6. Нойтон соронзон баяжуулалтын XRD шинжилгээ. (а)- баяжмал, (б)-хаягдал.**

цайр, хар тугалга ордог. Түүнд хүхрийн агуулга 0.5%, фосфор 0.01-1.1%, цайр хар тугалганых 0.05%-иас ихгүй байвал зохимжтой гэж үзнэ [3]. Уг шинжилгээгээр төмрийн агуулгад сөргөөр нөлөөлдөг фосфорын агуулга бага байгаа нь ажиглагдаж байна. Төмрийн хүдрийн шаварлаг эрдсийг төлөөлдөг Ca, Al, K, Mg-ийн агуулга баяжмалд буурч, хаягдалд хуримтлагдаж байна.

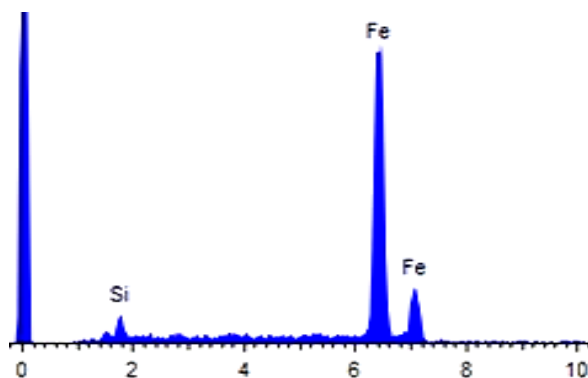
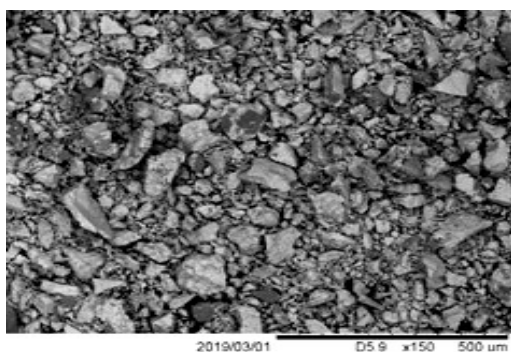
**3.6. Хүдэр бүтээгдэхүүнд хийсэн рентген диффрактометрийн шинжилгээ (XRD)**

Төмрийн анхдагч хүдэрт хийсэн рентген диффрактометрийн шинжилгээний дүнгээс харахад

давамгайлж байсан. Харин нойтон соронзон баяжуулалтын дараа (Зураг 6) баяжмалд хүдрийн эрдэс болох магнетит, гематит голлон илэрсэн бол хаягдалд кварц, кальцийн карбонат, гематит, албит зэрэг соронзон бус эрдсүүд ялгарсан нь харагдаж байна.

**3.2.1 Электрон микроскоп (SEM-EDX)-ийн шинжилгээний дүн**

SEM-EDX шинжилгээний дүнгээс (Зураг 7) харахад анхдагч хүдэрт хүдрийн бус эрдэс агуулсан ширхэглэлийн хэмжээ ижил бус байсан ба EDX-ийн шинжилгээгээр Si, Al, Ca, K зэрэг соронзон бус



**Зураг 7. SEM-EDX -ийн зураг. Нойтон соронзон баяжуулалтын баяжмал.**

эрдэст агуулагддаг элементүүд илэрч байсан бол нойтон соронзон баяжуулалтын баяжмалд хийсэн SEM-EDX-ийн дүнд ширхэглэлийн хэмжээ нэгэн жигд бөгөөд хүдрийн бус эрдсүүдээс бүрэн салсан нь ажиглагдаж байна.

#### ДҮГНЭЛТ

Чандмань-Уул ордын төмрийн хүдэрт минералоги болон петрографийн шинжилгээ хийсэн ба чулуулаг нь кварц, карбонат, хүдрийн эрдсүүдээс тогтсон байна. Харин хүдрийн зонхилох эрдсүүд нь магнетит, гематит, мартит, гётит, гидрогётит зэрэг байна. Химийн шинжилгээний дүнгээс харахад тус ордын анхдагч хүдрийн төмрийн агуулга Fe- 43.59% байв.

Хуурай соронзон баяжуулалтын гүйдлийн утгыг үндсэн 0.4А, цэвэрлэгээний 0.2А дээр гүйцэтгэж баяжмалын төмрийн агуулга 56.70%, нойтон соронзон баяжуулалтыг гүйдлийн утга 3А дээр туршсанаар баяжмалын төмрийн агуулга 65.60%-тай стандартын шаардлагад нийцсэн баяжмал гарган авсан. Туршилтын үр дүнг багажит шинжилгээний аргууд ICP-MS, XRD, SEM-EDX-ээр баталгаажуулсан.

Хуурай соронзон баяжуулалтын хаягдал дахь төмрийн агуулга 33.54% байгаа тул хаягдлыг дахин боловсруулах шаардлагатай гэж үзэж байна.

Чандмань-Уул ордын нойтон соронзон баяжуулалтын баяжмал стандартын шаардлага хангасан тул цаашид металлургийн ангижруулах процессыг гүйцэтгэхэд тохиромжтой гэж дүгнэв.

#### АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. УУХҮЯ-ны хяналт-шинжилгээ, үнэлгээ дотоод аудитын газар (2019) УУХҮЯ 2018 оны жилийн эцсийн тайлан. УБ. х. 6-7.
2. УУХҮЯ-АМГТ-ны газар (2019) Монгол улсын ашигт малтмалд хэрэглэх аргачилсан зөвлөмж (Төмрийн хүдэр)- УБ. х. 6-10.
3. У. Мавлет. Б. Энэбиш. (1999) *Монгол улсын эрдсийн баялаг*. УБ. х. 148-164.
4. Q.X. Zong, L.Z. Fu, L. Bo (2018) Variables and Applications on Dry Magnetic Separator. *E3S Web of Conferences 2018*. 53. p. 1-9.
5. O.K. Abubakre, R.A. Muriana and P.N. Nwokike. (2007) Characterization and beneficiation of Anka chromite ore using magnetic separation process. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*. 6. p. 143-150.
6. D. Xiong, L. Lu, R.J. Holmes. (2015) Developments in the physical separation of iron ore: magnetic separation. *Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability*. 9. p. 283-307.
7. С.Сүхбат, Ц.Соёлмаа, Д. Баасанжав, Б.Оргилбаяр, Н.Сугир-Эрдэнэ, Б.Өнөрсайхан, Ц.Загарзүсэм, Э.Отгонжаргал (2019) “Хүхэр агуулсан төмрийн хүдрээс баяжмал гарган авах”. *Хүрэлтогоот – 2019 эрдэм шинжилгээний хурлын эмхтгэл*. УБ. х. 32-36.

## Technological study of iron ore processing from Chandmani-Uul deposit by dry and wet magnetic separation

B.Unursaikhan, D.Baasanjav, N.Sugir-Erdene, B.Orgilbayar, S.Sukhbat, Ts.Soyolmaa, Ts.Zagarzusem, E.Otgonjargal\*

*Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia*

\*E-mail: otgonjargale@mas.ac.mn

---

Хүлээн авсан: 20.10.2019

Хяналтанд: 21.10.2019

Хэвлэлтэнд авсан: 25.12.2019

---

**Abstract:** The iron ore sample is processed in laboratory conditions with methods of both dry and wet magnetic separation. The particle size of the processed sample was 1 mm electric power of dry magnetic separation 0.2A-0.6A, and the rotation number of the separation drum was chosen to be 32 per/min. The most suitable procedures to get standardized concentrate are optimized through considering the following facts that the duration of wet magnetic separation is 20, 30, 40, 50 minutes, classification yield is 4350.%, 55.70%, 72.70%, 85.20% for 0.074 mm crushed particles, and the electric power is 1A-5A of the wet magnetic drum. As a result of this process, the initial Fe concentration of the primary ore has increased from 43.59% to 65.60% and the recovery arose to 96.93%. Therefore, the combination methods of dry and wet iron ore separation are applicable for processing of iron concentrate with higher pureness that meets the requirements of metallurgical industries.

**Keywords:** *iron ore, dry magnetic separator, wet magnetic separator, iron concentrate*

---

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

DOI: <https://doi.org/10.5564/bicct.v0i7.1267>