



**Хүхэр агуулсан төмрийн хүдрээс стандартын баяжмал гарган авах технологийн судалгаа**

Н.Сугир-Эрдэнэ\*, Д.Баасанжав, Б.Оргилбаяр, С.Сүхбат, Б.Нямдаваа, Ч.Маамхүү, Д.Бадам, Э.Отгонжаргал

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

\*E-mail: sugiraa85@gmail.com

Хүлээн авсан: 01.11.2018

Хяналтанд: 03.11.2018

Хэвлэлтэнд авсан: 30.11.2018

**Хураангуй:** Төмөртэйн ордын магнетитын хүдрийг хуурай, нойтон соронзон болон флотацийн аргаар баяжуулж, металлургийн үйлдвэрийн түүхий эдийн стандартын шаардлага хангасан хүхрийн агуулга багатай төмрийн баяжмал гарган авлаа. Анхдагч хүдрийг (-3 мм) ширхэглэлтэйгээр буглан хуурай соронзон баяжуулалтыг гүйдлийн хүч 2.5 А, булны эргэлтийн хурд 125 эрг/мин, нойтон соронзон баяжуулалтыг нунтаглалтын хугацаа 10-60 мин, гүйдлийн хүч 5-25 А, 0.074 мм-ийн ангилал 50-85% агуулсан стандарт баяжмал гарган авах технологийн зохистой горимуудыг тогтоож гарсан баяжмалыг флотацийн аргаар гүйцээн баяжуулав. Туршилт судалгааны үр дүнд 42.03%-ийн төмөр, 2.87%-ийн хүхэр агуулсан анхдагч хүдрээс 68%-ийн төмөр, 0.2%-ийн хүхэр агуулсан, 90.89%-ийн металл авалттай төмрийн баяжмалыг гарган авав. Иймд хуурай, нойтон соронзон баяжуулалт, флотацийн хосолсон схемээр төмрийн хүдрийн хорт хольц болох хүхрийг бууруулснаар цаашид металлургийн үйлдвэрийн шаардлага хангасан өндөр цэвэршилтэй төмрийн баяжмалыг ялган авах боломжтой юм.

**Түлхүүр үг:** магнетит, төмрийн баяжмал, хүхэр, баяжуулалт, флотаци

**ОРШИЛ**

Монгол улсад төмрийн хүдрийн хамгийн том орд болох Сэлэнгэ аймгийн Хүдэр сумын нутагт орших Төмөртэйн орд нь 229.3 сая тонн нөөцтэй гэж тогтоогдсон. Тус орд нь баруун болон зүүн гэсэн үндсэн хоёр хэсгээс бүрддэг бөгөөд баруун хэсэг нь 45.72% төмрийн, 0.12% хүхрийн агуулгатай, зүүн хэсэг нь 50.36% төмрийн, 1.3-2.7% хүхрийн агуулгатай байгаа нь хэт өндөр хүхрийн агуулгатай байна. Гадны эрдэмтдийн судалгаагаар төмрийн хүдрийг хуурай, нойтон соронзон аргаар баяжуулан гарган авсан баяжмалаа урвуу флотацийн аргаар гүйцээн баяжуулж хүхрийг нь багасгасан туршилтууд маш сайн үр дүнтэй гарсан байна [1, 2]. Мөн соронзон-флотацийн хосолсон аргаар төмрийн хүдрийг баяжуулан цэвэршүүлэх судалгаанд нунтаглалтын горимын өөрчлөлт чухал үүрэгтэйг онцолсон байдаг [3, 4]. Судалгааны ажлын зорилго нь хүхэр өндөртэй төмрийн хүдрээс стандартын шаардлага хангасан металлургийн зориулалтаар ашиглах баяжмал гарган авах боломжийг судлах юм.

**СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ**

Сэлэнгэ аймгийн Хүдэр суманд орших “Төмөртэй”-н ордын төмрийн хүдрээс төлөөлөх дээж авч, эрдсийн найрлагын судалгаа болон химийн бүрэн шинжилгээг хийж лабораторийн нөхцөлд технологийн туршилт судалгааны ажлыг явуулав.

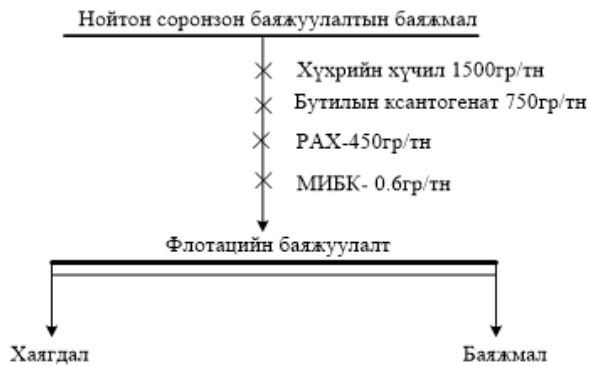
Төмрийн анхдагч хүдрийг баяжуулахын өмнө ОХУ-д үйлдвэрлэсэн хацар, булт бутлуур ашиглан нарийсгаж нунтаглалтын горим тогтоох туршилтыг бөмбөлөгт тээрэм (Чех) ашиглан 10, 20, 30, 40, 60 минут тус бүрд явуулсан. Бид үндсэн 2 технологийн туршилтыг тухайн ордын төмрийн хүдэрт хийж гүйцэтгэв.

**Туршилт 1: Нойтон соронзон-Флотацийн баяжуулалт**

Хугацааны интервалаар нунтаглагдсан хүдрийг Английн “Roxmag Rapid” компанид үйлдвэрлэсэн нойтон соронзон сепаратор ашиглан баяжуулах туршилтыг соронзон орны хүчдэлийн 5 А, 10 А, 20 А, 25 А гэсэн утгууд дээр Зураг 1-д харуулсан схемийн дагуу явуулав. Төмрийн хүдрийг нойтон соронзон



**Зураг 1.** Төмрийн хүдрийн дээжийг нойтон соронзон аргаар баяжуулах ерөнхий схем.



Зураг 2. Хөвүүлэн баяжуулах аргын ерөнхий бүдүүвч



Зураг 3. Хуурай-нойтон соронзон-флотацийн баяжуулалтын схем

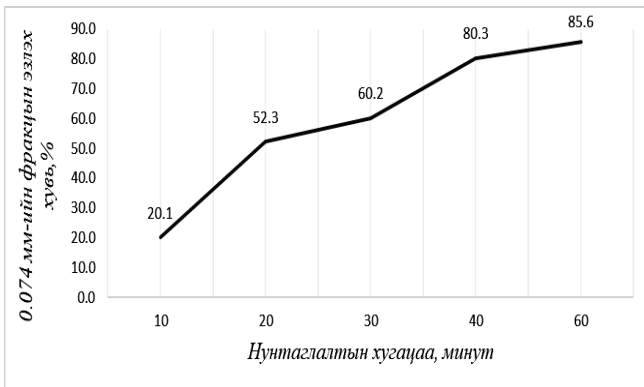
ялгагчаар баяжуулж гарган авсан баяжмалын пиритийн (FeS<sub>2</sub>) агуулга өндөр байсан учир чанарыг дээшлүүлэх зорилгоор урвуу хөвүүлэн баяжуулах аргаар Английн “Denver” пүүсийн флотмашин ашиглаж FeS<sub>2</sub> -ийг ялган авч төмрийн хүдрийг гүйцээн баяжуулах туршилтыг сул хүчиллэг орчинд Зураг 2-д харуулсан ерөнхий схемийн дагуу явууллаа.

**Туршилт 2: Хуурай-нойтон соронзон-Флотацийн баяжуулалт**

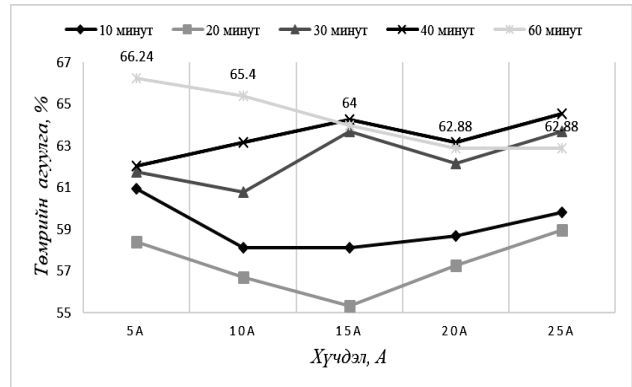
Төмрийн хүдрийг нойтон болон флотацийн туршилтад оруулахын өмнө баяжмалын чанарыг дээшлүүлэх зорилгоор Английн “Roxmag Rapid”

**ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ**

Төмөртэйн ордын анхдагч хүдрийн химийн шинжилгээгээр төмрийн агуулга Fe - 42.03%, хортой хольц болох хүхрийн агуулга 2.87%, фосфор <0.01% агуулгатай байна. Минералогийн шинжилгээний дүнгээс харахад Төмөртэйн хүдэрт хортой хольц болох хүхэр нь пирит FeS<sub>2</sub> хэлбэрээр агуулагдаж байна. Анхдагч хүдрийн химийн болон минералогийн шинжилгээний дүнг өмнөх бүтээл [5]-д дэлгэрэнгүй оруулсан тул дахин бичих нь илүүц гэж үзлээ. Ширхэглэгийн ангиллаар эрдсийн найрлагыг тодорхойлоход суларсан чөлөөт магнетитын агуулга 46.72%, суларсан чөлөөт магнетитын агуулга нь (-0.3



Зураг 4. Анхдагч хүдрийн 0.074 мм-ийн фракцын эзлэх хувь нунтаглалтын хугацаанаас хамаарсан хамаарал



Зураг 5. Нунтаглалтын хугацаа болон нойтон соронзон баяжуулалтын хүчдэлээс хамаарсан баяжмал дахь төмрийн агуулга

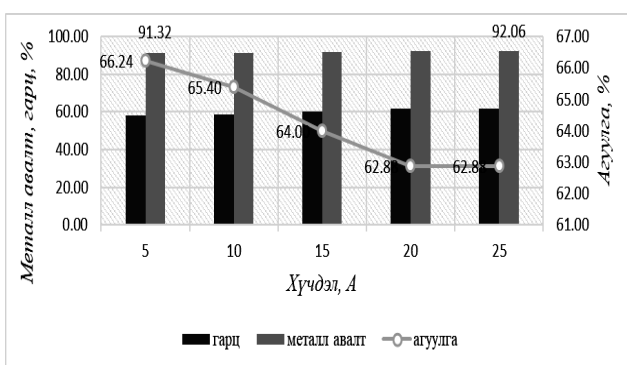
компанид үйлдвэрлэсэн индукцийн булт ангилагч ашиглан хуурай соронзон баяжуулалт хийв. Туршилтыг Зураг 3-д үзүүлсэн схемийн дагуу явуулсан. Хүдэр, баяжмалын найрлагыг бүрэн ойлтын рентгенфлуоресценцийн спектрометрээр (XRF), эрдсийн найрлагыг рентгендефрактометр (XRD) (Philips PW1800), флотацийн дараах баяжмалын молекулын бүтцийг нил улаан туяаны спектрофотометр (FTIR) (STS-1900FT), халууны задралаар үүсэх дээжний жингийн өөрчлөлт, хорогдлыг термогравиметрийн шинжилгээгээр (TG/DTA7300) хийж үр дүнг нэгтгэсэн.

+0.15 мм) ангилалд харгалзан 68.41% ба (-0.15 +0.074 мм) ангилалд 66.17% ба (-0.074 мм) –ийн ангилалд 84.30% байна. Нойтон соронзон баяжуулалт явуулахад дээжний ширхэглэг нь маш чухал нөлөө үзүүлдэг ба хүдэр, баяжмалын ширхэглэгийн 50-с дээш хувийг 0.074 мм –ийн фракц эзэлж байвал баяжуулалтын үр дүн өндөр байна гэж үздэг [7]. Төмрийн анхдагч хүдрийг баяжуулахын өмнө нунтаглалтын горим тогтоох туршилтыг 10, 20, 30, 40, 60 минут тус бүрд явуулан нунтаглаж 0.074 мм –ийн ширхэглэгийн фракцыг 20-85% хүргэсэн. 0.074 мм-ийн фракцын эзлэх хувь нунтаглалтын хугацааны

хамаарлыг *Зураг 4*-д үзүүлэв. Анхдагч хүдрийн 0.074 мм-ийн фракцын эзлэх хувь нунтаглалтын хугацаанаас хамаарах хамаарлын үр дүнгээс харахад 40 минут нунтаглахад 0.074 мм фракцын агуулга 80% хүртэл өссөн байгаа нь 40 минутын хугацааг нунтаглахад хангалттай гэж үзлээ.

**Туршилт 1: Нойтон соронзон-Флоацийн баяжуулалтын үр дүн**

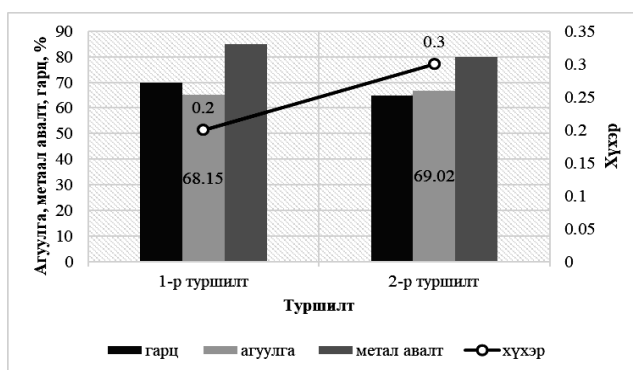
Хугацааны интервалаар нунтагласан хүдрийг нойтон соронзон баяжуулалтын аргаар баяжуулсан



**Зураг 6.** Анхдагч төмрийн хүдрийн 60 минут нунтаглан баяжуулсан баяжмалын металл авалт, агуулга, гарцын хүчдэлээс хамаарсан хамаарал

туршилтын үр дүнг нэгтгэн *Зураг 5*-д графикаар харуулав. Туршилтын дүнгээс харахад нунтаглалтын хугацаа болон соронзон орны хүчдэлээс хамаарсан нойтон соронзон баяжуулалтын туршилтын үр дүнд баяжмал дахь төмрийн агуулга 5 А болон 60 минут дээр хамгийн өндөр 66.24% -ийг үзүүлсэн байна. Нунтаглалтын хугацаанаас хамаарсан нойтон

соронзон баяжуулалтын хамгийн өндөр үр дүн үзүүлсэн 60 минутын хугацаанд 5 А, 10 А, 15 А, 20 А, 25 А амперметрийн хүчдэл дээр баяжуулсан үр дүнг баяжмалын металл авалт, баяжмал дахь төмрийн агуулга, баяжмалын гарцтай харьцуулсан хамаарлыг графикаар харуулав (*Зураг 6*). Хүчдэлийн 5 А дээр металл авалт 91.32%, баяжмалын гарц 57.94%, баяжмал дахь төмрийн агуулга 66.24% байна. Харин хүчдэл өсөх тусам баяжмалын металл авалт болон гарцын хэмжээ өсч, төмрийн агуулга буурч байгаа нь

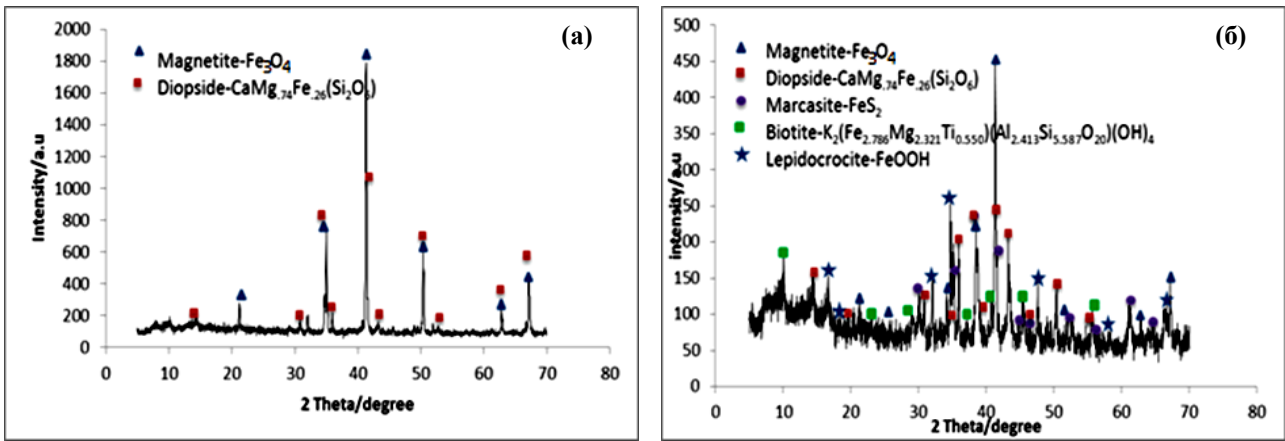


**Зураг 7.** Нэг болон хоёр дугаар туршилтын баяжмалын харьцуулалт

хүчдэлийн хэмжээ нэмэгдэхэд сул соронзон чанартай бусад эрдсүүд баяжмалыг бохирдуулж байгааг харуулж байна. Металлургийн түүхий эд болох төмрийн баяжмалын чанарын стандарт нь төмрийн агуулга 65%-аас дээш, хүхрийн агуулга 0.5%-аас бага байх шаардлагатай [7]. Нойтон соронзон баяжуулалтаар гарсан баяжмал дахь хүхрийн агуулга

**Хүснэгт 1.** Анхдагч хүдрийг нойтон соронзон- флотацийн хосолсон баяжуулалтын аргаар баяжуулсан технологийн үзүүлэлтүүд

Бүтээгдэхүүний нэр	Технологийн үзүүлэлт, %-иар				Туршилтын нөхцөл
	Гарц	Төмрийн агуулга	Хүхрийн агуулга	Төмрийн металл авалт	
<b>Нойтон Соронзон баяжуулалт</b>					
Соронзон сепараторын баяжмал	57.94	66.24	1.50	91.32	Ялгагчийн ороомог дахь гүйдлийн хүч 5 А
Соронзон сепараторын хаягдал	42.06	8.68	-	8.69	
Анхдагч хүдэр	100.0	42.03	2.87	100.0	
<b>Флотацийн баяжуулалт</b>					
Камерын бүтээгдэхүүн	56.05	68.15	0.2	90.89	Хүхрийн хүчил-1500 г/т
					МИБК-200 г/т
Хөөсөн бүтээгдэхүүн	1.89	9.68	-	0.43	Бутилксантогенат-750 г/т
					ФАХ-450 г/т
Соронзон сепараторын баяжмал	57.94	66.24	1.50	91.32	рН-5.9-6.1
					Флотацийн хугацаа-10 мин



Зураг 8. Флотацийн баяжмал /а/ болон хаягдал /б/ бүтээгдэхүүний рентгенограмм

2.87%-аас 1% хүртэл буурсан ч шаардлагатай хэмжээнд хүрээгүй. Иймд баяжмалыг урвуу флотацийн арга ашиглан хортой хольц пиритийн ( $\text{FeS}_2$ ) агуулгыг бууруулж төмрийн агуулгыг нэмэгдүүлэх шаардлагатай болсон. Туршилтын үр дүнг Хүснэгт 1-д нэгтгэн үзүүлэв. Лабораторийн туршилт судалгааны үр дүнд төмрийн хүдрийг нойтон соронзон ялгагчаар баяжуулан гарган авсан баяжмалыг хөвүүлэн баяжуулах аргаар дахин гүйцээн баяжуулж 66.24%-ийн төмөр, 57.94% -ийн гарцтай төмрийн баяжмалыг 90.89%-ийн металл авалттайгаар ялган авах боломжтойг тогтоов. Хүдэр дэх хүхрийн агуулга 2.87% -аас 0.2% хүртэл буурч стандарт хэмжээнд хүрсэн.

**Туршилт 2: Хуурай-нойтон соронзон-Флотацийн баяжуулалтын үр дүн.**

Төмрийн хүдрийг нойтон болон флотацийн туршилтад оруулахын өмнө баяжмалын чанарыг дээшлүүлэх зорилгоор хуурай соронзон баяжуулалт хийж эцсийн үр дүнг харьцуулж Хүснэгт 2-д харуулав. 2-р туршилтын үр дүнд төмрийн хүдрийг хуурай соронзон ялгагчаар баяжуулан гарган авсан баяжмалыг нойтон соронзон болон флотацийн аргаар дахин гүйцээн баяжуулж, 69.02%-ийн төмөр агуулгатай, 0.3%-ийн хүхэр агуулсан баяжмалыг 88.01%-ийн металл авалттайгаар ялган авах боломжтойг тогтоов. Флотацийн аргыг соронзон ялгагчтай хослуулан хэрэглэж туршсан 2 туршилтаар хорт хольц болох хүхэр багатай баяжмал гарган авах бүрэн боломжтой байгааг бидний туршилтын үр дүн батлан харуулж байна. 1-р туршилтаар металл авалт болон гарцын хэмжээ өндөр боловч 2-р туршилтаар баяжмал дахь төмрийн агуулга өндөр гарсан байна. Дээрх хоёр туршилтын агуулга болон металл авалт, гарц, хорт хольц болох хүхэр зэргийг харьцуулсан графикийг Зураг 7-д харуулав. Дээрх хоёр туршилтын үр дүнг харьцуулахад 1-р туршилтаар гарсан баяжмал нь металл авалт болон гарц нь өндөр, харин төмрийн агуулга нь 2-р туршилтаас бага боловч стандартын баяжмал дахь төмрийн агуулгад хүрсэн байна. Иймд туршилтын үр дүнг хангалттай гэж үзээд батлах зорилгоор флотацийн баяжмал болон хаягдалд рентген фазын шинжилгээ

хийв (Зураг 8). Флотацийн баяжмал болон хаягдал бүтээгдэхүүний рентгенограммын шинжилгээний үр дүнгээс харахад баяжмалд зөвхөн магнетит, диопсид үүссэн бөгөөд флотацийн хаягдал бүтээгдэхүүнд марказит илэрсэн нь хортой хольц хүхэр агуулсан эрдсийг бүрэн ялгасан болохыг баталж байна.

**ДҮГНЭЛТ**

“Төмөртэй”-н ордын төмрийн хүдийн магнетит нь 3 мм хүртэл нунтагласан дээжид сул чөлөөт мөхлөгт байдлаар 46.72%, хам ургалтат хэлбэрээр 20.68% тус тус агуулагдаж байна. Анхдагч хүдрийг (0.074 мм-ийн ширхэглэл 80%) нунтаглаж нойтон соронзон сепаратороор баяжуулахад баяжмал дахь төмрийн агуулга 66% буюу шаардлагатай хэмжээнд хүрсэн ч хорт хольц болох хүхрийн агуулга буураагүй тул флотацийн аргаар гүйцээн баяжуулж 56.05% гарцтай, 90.89% металл авалттай, төмрийн агуулга 68.15%, хүхрийн агуулга 0.2% стандартын баяжмал гарган авав.

Төмрийн хүдрийг нойтон болон флотацийн туршилтад оруулахын өмнө баяжмалын чанарыг дээшлүүлэх зорилгоор хуурай соронзон сепаратороор баяжуулсны үр дүнд 53.59% гарцтай, 88.01% металл авалттай, 69%-ийн агуулгатай төмрийн баяжмал гарсан ч өмнөх туршилтаас гарц болон металл авалтаар бага байгаа нь үр дүн муутай харагдаж байна.

Туршилтын үр дүнг харьцуулан үзэхэд нойтон соронзон-флотацийн баяжуулалтын хосолсон туршилтын төмрийн агуулга нь хуурай, нойтон соронзон-флотацийн туршилтын үр дүнгээс бага байгаа боловч стандартын баяжмалын агуулгад хүрч байгаа бөгөөд гарц болон металл авалтаар өндөр байгаа нь нойтон соронзон-флотацийн хосолсон схемээр Төмөртэй ордын хүхрийн агуулга өндөр төмрийн хүдрийг баяжуулах нь тохиромжтой байна.

**АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ**

1. В.А. Арсентьев, Т.В. Дендюк. Исследование и разработка технологий флотационна – магнитной доводки концентратов и промпродуктов

- магнитного обогащения железных руд. *Наука.М.* 1990. с. 110-114.
2. Л.Ж. Богданди, Г.Ю. Энгель. Восстановление железных руд. Перев. с нем. Изд-во Metallургия. 1971.
  3. С.М. Андоньев, О.В. Филиппев. *Пылегазовые выбросы предприятий чёрной металлургии. М: Металлургия.* 1979.
  4. С.Б. Шинкоронко, Е.П. Белецкий и другие. *Справочник по обогащению руд черных металлов.* М.Недра. 1980, с.65-71.
  5. Б.Оргилбаяр, С.Сүхбат, Н.Сугир-Эрдэнэ. Төмрийн хүдрийн эрдэс бүрдэл, химийн найрлага. *ШУТИС-ХШУС ЭШБЭ-5/232.* 2018. х.94-97.
  6. В.В. Кармазин, В.Н. Кармазин. *Магнитные электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых.* Москва. 2005. с.46-57
  7. Металлургид хэрэглэх төмрийн хүдэрт тавих ерөнхий шаардлага ба төмрийн хүдрийг орлох түүхий материалын ангилал. MNS ISO 11323:2011
  8. “Төмөртэйн гол” ордын төмрийн хүдэр баяжуулах үйлдвэрт технологийн хяналт, сорьцлолт хийсэн ажлын тайлан. ЭБТХ 2010 он.

## Technological research to produce standard concentrate from iron ore containing sulfur

N.Sugir-Erdene\*, D.Baasanjav, B.Orgilbayar, S.Sukhbat, B.Nyamdavaa,  
Ch.Maamkhuu, D.Badam, E.Otgonjargal

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

\*E-mail: sugiraa85@gmail.com

Received: 01.11.2018

Revised: 03.11.2018

Accepted: 30.11.2018

**Abstract:** Experimental studies were carried out in order to extract and obtain iron ore with low sulfur content that meets the standard requirements of metallurgical raw materials by enriching the Magnetite ore of the Tumurtei deposit by electromagnetic gyratory separator in dry, wet and with the flotation method. primary ores were conducted -3 mm crushed , the dry magnetic enrichment procedure of coil was at 2.5A, and the roller was 125 round/min velocity, Also the appropriate technological procedures of extracting standard concentrates were determined when the wet magnetic processing procedure was conducted and the current of coil was at 5-25A, and the grinding period was 10-60 minutes, or when the classification content of -0.074 mm were 50-85 percent and the extracted concentrate was completed by flotation method. It was identified that high purity iron concentrate that meets the metallurgical requirements can be extracted by reducing sulfur which is a toxic mixture by dry and wet magnetic enrichment procedures and the combined flotation scheme.

**Keywords:** *magnetite, iron concentrate, sulfur, concentrate, flotation*

© The Author(s). 2018 **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.v0i5.1075>