



## ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛ

## Манганы хүдрийг флотацийн аргаар баяжуулах технологийн судалгаа

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

*Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Шинжлэх ухааны академи, Улаанбаатар 13330, Монгол улс.*
*\*E-mail: otgonjargale@mas.ac.mn*

Хүлээн авсан: 01.10.2020

Хянасан: 30.11.2020

Хэвлэлтэнд авсан: 03.12.2020

**Хураангуй:** Энэхүү судалгаагаар бага агуулгатай манганы хүдрээс стандартын шаардлага хангасан манганы баяжмалыг гарган авахад флотацийн зохистой горим, урвалжийн зарцуулалт хэрхэн нөлөөлж байгааг тогтоов. Судалгааны объектоор Дорноговь аймгийн нутагт орших Унагадын манганы ордын хүдрийг ашигласан бөгөөд хүдрийн голлох эрдэс нь пиролюзит юм. Элементүүдийн химийн шинжилгээгээр анхдагч хүдэр дэх манганы агуулга 17.31% байна. Рентген дифрактометрийн шинжилгээгээр кварц, пиролюзит, альбит, анортит, анортоклаз, ортоклаз, гаусманит зэрэг эрдсүүд байгаа нь тогтоогдсон. Манганы хүдрийг флотацийн аргаар баяжуулах цуврал туршилтуудыг цуглуулагчийн зарцуулалт 900 г/т, 1100 г/т, 1300 г/т, 1500 г/т, 1700 г/т, дарагчийн зарцуулалт 570 г/т, 670 г/т, 770 г/т, 870 г/т, хөөсрүүлэгч 900 г/т, рН-8, ширхэглэлийн хэмжээг -0.074 мм ангийн агуулга 60%, 70%, 80%, 90%гэсэн нөхцлүүдэд явуулсан. Туршилтын дүнд цуглуулагчийн хэмжээ 1500 г/т, хөөсрүүлэгч 900 г/т, дарагч 670 г/т, -0.074 мм ангийн агуулга 70%, рН-ийн утга 8 гэсэн хамгийн тохиромжит нөхцөлд баяжмал дахь металл авалт 57.33%, гарц 30% байж, харин Mn-ний агуулга 32.37%-тай баяжмал гарав.

**Түлхүүр үг:** Манганы баяжмал, флотаци, олейны хүчил, натрийн силикат

**ОРШИЛ**

Манган нь ихэвчлэн ганг сайжруулах, хүхэргүйжүүлэх, хайлсан металаас хүчилтөрөгчийг салгах зэрэг процесст өргөн хэрэглэгддэг металлуудын нэг юм. Манганы 90 орчим хувийг металлургийн салбарт ашигладаг [1-3]. Дэлхий дээрх манганы хүдрийн нөөцийн дийлэнх хувийг (90.8%) хүнд баяжигддаг карбонатын хүдэр эзэлдэг бол оксидын болон холимог хүдэр нь хялбар боловсруулагддаг [4]. Эрдсийг баяжуулах процессын зорилго нь ашигтай болон ашиггүй эрдсийн нэгдлүүдийн хооронд физик-химийн шинж чанарын ялгааг ашиглан тэжээлийг баяжмал, хаягдал болгон ялгах явдал юм [5]. Бага агуулгатай манганы хүдрээс манганыг ялган авахдаа манганы баяжмалын зориулалт болон хүдрийн эрдсийн найрлагаас хамааран янз бүрийн арга, технологийг ашигладаг. Хүдэр баяжуулах болон боловсруулах нийтлэг аргууд нь гравитацийн болон соронзон ялгалт, флотаци, пирометаллурги, гидрометаллурги юм. Эдгээрийн дотроос флотацийн аргыг эрдэс боловсруулах үр дүнтэй, ашигтай арга гэж үздэг ба энэ нь бусад аргуудтай харьцуулахад хэрэглэхэд хялбар, ажиллагаа энгийн, үр ашигтай, эдийн засгийн хувьд хэмнэлттэй.

Флотацийг өмнө нь нарийн төвөгтэй хүдрээс тодорхой нэгдлүүдийг (жишээлбэл, зэс-цайр, хар тугалга-цайр) гарган авахад ашигладаг байсан бол сүүлийн жилүүдэд оксид, исэлдсэн хүдэр, металл бус

хүдрийг боловсруулахад хэрэглэх болсон. Флотацийн урвалж нь ашигт эрдсийг салгах процесст чухал үүрэг гүйцэтгэдэг [6-7].

Манганы эрдсүүдийг чулуулгийн эрдсүүдээс анионы шууд флотацийн схемийн дагуу ялгадаг. Булингын рН-ийн зохистой утга нь шууд анионы флотацийн үед 7-9 хооронд, манганы баяжмалын агуулга нь 22-46%, металл авалт нь анхдагч материалаас тооцвол 40-70% байдаг [7]. Манганы хүдрийн флотацид анионы цуглуулагчид болох тосны хүчил, олейны хүчил, линолений хүчил зэргийг өргөн хэрэглэдэг [8]. Салгах флотацийн үед хоосон чулуулаг болон силикатын эрдсүүдийг дарагч урвалж болох шингэн шил ашигладаг. Дараа нь цуглуулагчийн тусламжтайгаар манганы оксидын эрдсүүд флотацилагдана. Манганы хүдрийн ихэнхи хэсэг нь хялбар шлам үүсгэдэг эрдсүүд эзэлдэг. Тиймээс ийм хүдрийн флотацийн баяжуулалт нь цуглуулагчийн зарцуулалт ихийг шаарддаг [9-10].

Манганы хүдрийг нойтон соронзон аргаар баяжуулан ҮВ/Т319-2005 стандартын “AMn34” зэрэглэлийг хангах 32-36% -ийн агуулга бүхий баяжмалыг гарган авдаг бол бид гравитаци, флотаци зэрэг хэд хэдэн аргын туршилтыг гүйцэтгэж харьцуулах замаар манганы хүдрийн баяжигдах шинж чанарыг судалж байгаа билээ. Бид өмнөх судалгааны ажлаар гравитацийн баяжуулалтын аргаар 36%-аас дээш манганы агуулга бүхий баяжмал гарган авч байсан [11] ба энэхүү судалгаагаар хүдрийг флотацийн

аргаар баяжуулах боломжийг судлав. Манганы хүдрийг баяжуулах оновчтой технологийн горим тогтоох, флотацийн аргаар манганы баяжмал гарган авахад олейны хүчил болон натрийн силикатын нөлөөллийг судлахад судалгааны ажлын зорилго оршино.

### СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Судалгааны объектоор Дорноговь аймгийн Айраг сумын нутагт орших Унагадын манганы ордын хүдрийг ашигласан. Уг орд нь 4157.33 мян.тн нөөцтэй. Тус ордоос түүвэрлэх аргаар авсан дээжийг цагариг конусын аргаар болон Джонсоны хуваагчаар хувааж хацарт бутлуур, булт бутлуурт оруулан -2 мм хүртэл бутлан судалгаанд бэлтгэв. Шигшүүрийн шинжилгээг 63 мкм-ээс -3мм-ийн 8 фракцид ангилан химийн шинжилгээ хийсэн. Ордын чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулгыг минералоги, петрографи, минераграфийн шинжилгээ, хүдэр болон баяжмалын элементийн найрлагыг индукцийн холбоост плазмын массспектрометр (ICP-MS), эрдсийн найрлагыг рентген дифрактометр (XRD) ашиглан тус тус тодорхойлсон.

**Нунтаглалтын оновчтой горим сонгох туршилт явуулах аргачлал:** Буталж, нунтагласан дээжнээс тус бүр 0.5 кг авч бөмбөлөгт тээрмээр нунтаглалтыг гүйцэтгэнэ. Дээж нунтаглах хугацааг 10–30 мин хүртэл 5 минутын интервалтайгаар нунтаглан оновчтой горимыг тогтооно. Нунтаглалтын хатуу шингэний харьцаа 2:1 байна.

**Флотацийн баяжуулалт явуулах аргачлал:** Флотацийн туршилтыг лабораторийн хөвүүлэн баяжуулах 1 литр эзэлхүүнтэй камерт явуулсан ба булингын хатуу шингэний харьцаа 1:2, импеллерийн эргэлтийн хурдыг 1900 эрг/мин байхаар тохируулна. Натрийн гидроксидыг орчин тохируулагчаар, рН-ийн 8 орчинд тохируулна. Дараа нь дарагчаар натрийн силикатын уусмалыг 570 г/т, 670 г/т, 770 г/т, 870 г/т, цуглуулагчаар

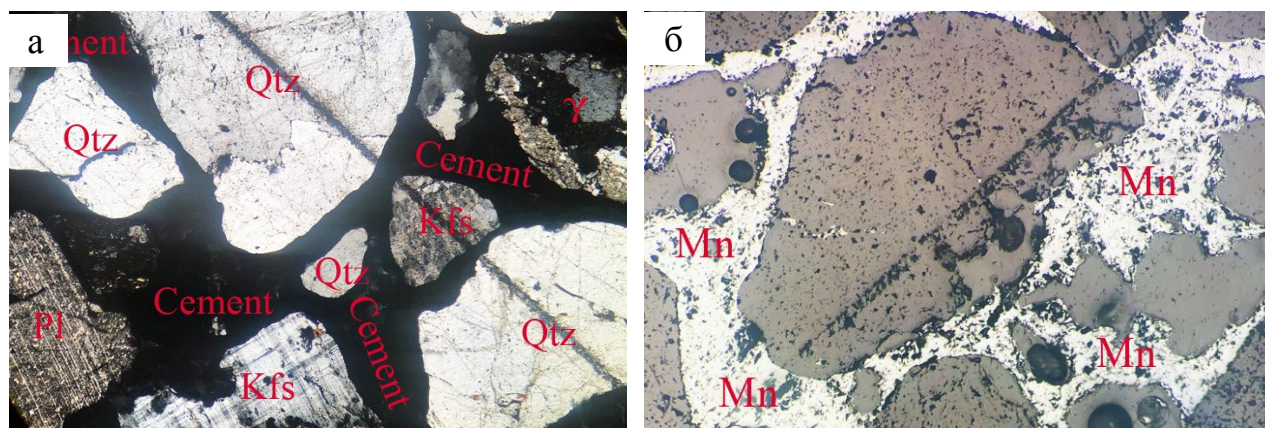


Зураг 1. Флотацийн баяжуулалтын технологийн схем

олейны хүчлийг 900 г/т, 1100 г/т, 1300 г/т, 1500 г/т, 1700 г/т, хөөсрүүлэгчээр нарсны тосыг 900 г/т зарцуулалттайгаар өгч 1 минутын турш холино. Флотацийн хөөсөн болон камерийн бүтээгдэхүүнийг шүүн авч, хатаагаад шинжилгээнд өгнө. Флотацийн аргаар баяжуулах технологийн схемийг Зураг 1-т харуулав.

### ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

**Хүдрийн петрографи, минераграфийн шинжилгээний дүн:** Хүдрийн эрдсийг ойсон гэрлийн микроскопоор судалж манганы эрдэс (пирролюзит) болохыг тодорхойлов (Зураг 2). Манганы эрдэс (пирролюзит) нь цагаан өнгөтэй, анизотроп шинж чанартай, призмлэг, зүүлэг хэлбэртэй байна. Манганы эрдэс нь цемент байдлаар 0.05-0.7 мм өргөнтэй нарийн зурвасуудаас гадна 7.5 мм хүртэл өргөн талбайг хамарсан цул масс байдлаар тааралдана. Элементүүдийн химийн шинжилгээгээр анхдагч хүдэр дэх манганы агуулга (Mn) 17.31%, хортой хольц болох фосфорын агуулга (P) 0.03% байсан ба бусад элементүүдийн агуулгыг хүснэгтээр харуулав. Фосфор нь хүдэр дэх хамгийн

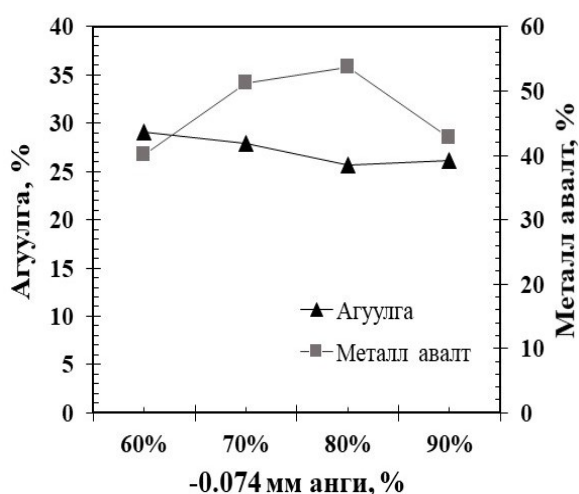


Зураг 2. (а) Өсгөлт 40х. Qtz-Кварц, Pl-Плагиоклаз, Kfs-Калишпат, γ-Хүчиллэг интрузив (Боржин), Cement-Манганы эрдсүүд. (б) Өсгөлт 100х. Mn-Манганы эрдэс

хортой хольц бөгөөд 1%-ийн манган тутамд 0.003-0.005%-ийн фосфорын агууламжийг хүлээн зөвшөөрдөг [12]. Дээжийн эрдсийн найрлагыг Philips PW1800 маркийн XRD ашиглан тодорхойлсон шинжилгээнээс харахад анхдагч хүдэрт кварц, альбит, анортит, анортоклаз, хээрийн жонш, ортоклаз, гаусманит, пиролюзит зэрэг эрдсүүд илэрсэн [11].

### Флотацийн баяжуулалтын үр дүн

Нунтаглалтын горим тогтоох туршилт. Флотацийн процесст нөлөөлөх нэг чухал хүчин зүйл нь хүдрийн бүхэллэгийн хэмжээ бөгөөд хүдрийн нунтаглагдах шинж чанарыг тодорхойлох туршилтыг хийсэн. Нунтаглалтын -0.074 мм ангийн агуулга 60%, 70%, 80%, 90% хүртэлх дээжийг баяжуулав. Нунтагласан зуганг 1 литр эзэлхүүнтэй

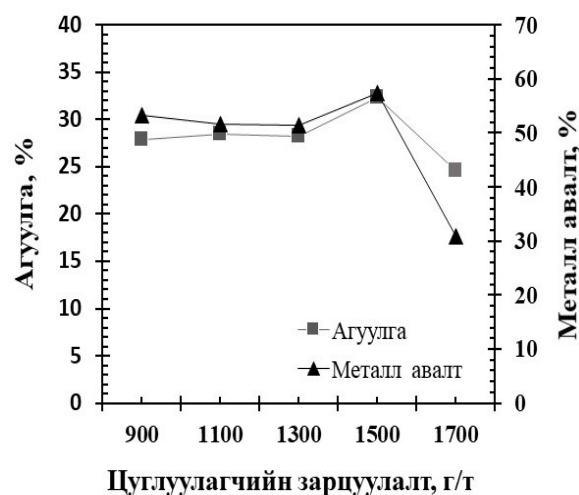


Зураг 3. Флотацийн баяжуулалтын агуулга, металл авалтын үр дүн

XFD маркийн флотацийн камерт хийж, цуглуулагч урвалжийн зарцуулалтыг 1100 г/т, дарагчийн зарцуулалт 670 г/т, хөөсрүүлэгчийн зарцуулалтыг 900 г/т үед флотацийн туршилтыг явуулсан баяжуулалтын үр дүнг Зураг 3-д үзүүлээ. Дээрхи үр дүнгээс харахад нунтагласан бүтээгдэхүүн дэх -0.074 мм ангийн агуулга 70% болон 80% үед металл авалт бусад туршилтуудаас өндөр байсан. -0.074мм ангийн агуулга 80% байхад хамгийн өндөр металл авалттай байгаа нь баяжмалын гарц ихэссэнтэй холбоотой бөгөөд баяжмалын агуулга буурч, хаягдлын агуулга өссөн байна. Иймд ангийн агуулга 70% үед хамгийн тохиромжтой буюу баяжмалын гарц 22%, агуулга Mn=27.92%, металл авалт 51.18% байсан тул энэ нөхцөлд урвалжийн зарцуулалтыг өөрчлөх замаар дахин туршилтыг хийж гүйцэтгэнэ.

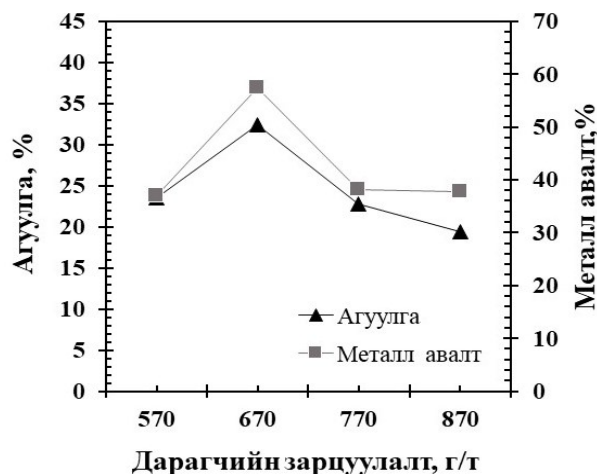
Цуглуулагчийн зарцуулалтыг тодорхойлох туршилт. Олейны хүчил нь оксигидриль цуглуулагчийн төрөлд багтдаг ба сульфидын бус хүдэр, оксидууд ба зарим силикатууд, родохрозит

болон манганы исэл агуулсан хүдрүүдийг флотацилахад илүү тохиромжтой байдаг ба бусад цуглуулагчдаас 1.5-2 дахин их флотацилах чадвартай байдаг тул туршилт судалгаанд сонгон авсан. Энэ төрлийн цуглуулагчийн гидрофобжуулагч ионууд нь нүүрсустөрөгчийн радикал ба солидофиль бүлэг болох карбоксиль бүлгээс бүрдэх анионууд болж өгдөг [7]. Манганы хүдрийг флотацийн аргаар баяжуулахад цуглуулагч урвалж болох олейны хүчлийг 900 г/т, 1100 г/т, 1300 г/т, 1500 г/т, 1700 г/т тус тус зарцуулалтыг өөрчилж флотацийн туршилтыг явууллаа. Цуглуулагч урвалжийн зарцуулалтаас хамааруулсан баяжмалын агуулга, металл авалтыг Зураг 4 -д харуулав. Туршилтын үр дүнгээс харахад цуглуулагч урвалжийн зарцуулалт 900 г/т үед баяжмалын

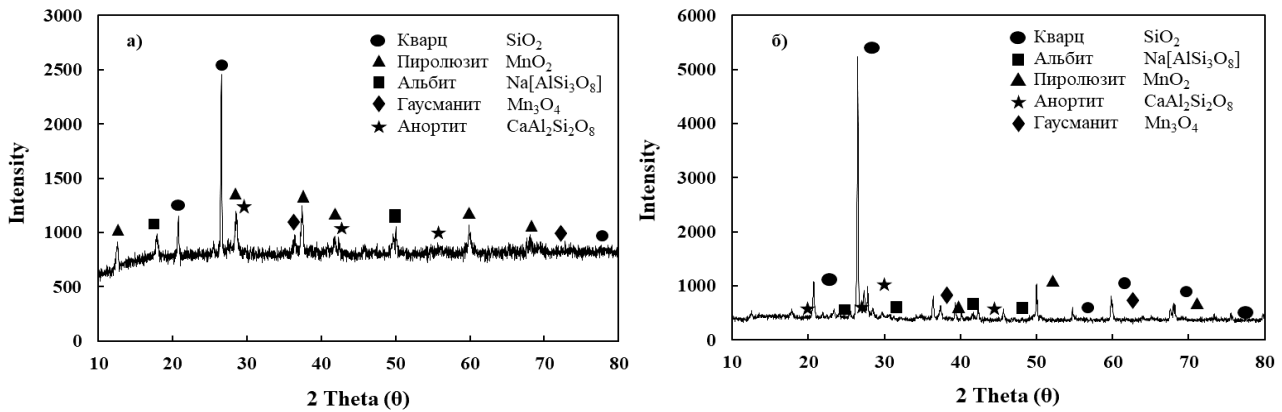


Зураг 4. Цуглуулагч урвалжийн өөрчлөлтийн хамаарал

агуулга 27.84%, металл авалт 53.34%, зарцуулалт 1100 г/т, 1300 г/т байх үед баяжмалын агуулга болон металл авалт төдийлөн өөрчлөгдөөгүй, 1500 г/т үед баяжмалын агуулга 32.37%, баяжмалын металл авалт 57.33% болж өссөн, харин 1700 г/т байх үед баяжмалын агуулга 24.6%, баяжмалын металл авалт



Зураг 5. Дарагч урвалжийн өөрчлөлтийн хамаарал



Зураг 6. Флотацийн баяжмал (а) ба хаягдлын (б) XRD

30.77% болж буурсан байгаа нь урвалжийн зарцуулалт нэмэгдэхэд цуглуулах үйлчлэл нь ихсэх хэдий ч сонгомол үйлчлэл нь буурч бусад хүдрийн бус эрдэст давхар үйлчилсэнтэй холбоотой. Энэ үр дүнгээс харахад цуглуулагч урвалжийн зарцуулалт 1500 г/т байх үед баяжмалын гарц, агуулга, металл авалт өндөр хувьтай байгаа нь ажиглагдаж байна.

*Дарагчийн зарцуулалтыг тодорхойлох туршилт.* Шингэн шилийг сульфидын биш эрдсүүдийн ялган хуваах флотацийн үед кварц ба силикатуудын дарагч урвалж болгон өргөн хэрэглэдэг. Манганы хүдрийн флотацид дарагч урвалж болох натрийн силикатыг 570г/т, 670 г/т, 770 г/т, 870 г/т тус тус зарцуулалтыг өөрчилж флотацийн туршилтыг явууллаа. Дарагч урвалжийн зарцуулалтаас хамааруулсан баяжмалын агуулга, металл авалтыг Зураг 5 -д харуулав. Туршилтын үр дүнгээс харахад дарагч урвалжийн зарцуулалт 570 г/т үед баяжмалын агуулга 23.5%, металл авалт 36.9%, харин зарцуулалт 670 г/т үед баяжмалын агуулга 32.37%, металл авалт 57.33% байв. Зарцуулалтыг 770 г/т, 870 г/т болгон нэмэгдүүлэхэд баяжмалын агуулга, металл авалт буурч байлаа. Дарагч нь цуглуулагчийн эсрэг үйлчлэлтэй урвалж бөгөөд дарагчийн зарцуулалт нэмэгдэх тусам цуглуулагчийн үйлчлэлд нөлөөлдөг. Иймд хаягдал дахь металлын хэмжээ ихсэн, баяжмал дахь металлын хэмжээ ба агуулга буурч байна. Дарагч урвалжийн зарцуулалт 670 г/т үед баяжмалын гарц, агуулга, металл авалт өндөр буюу хамгийн тохиромжтой байна (Зураг 5). Флотацийн баяжуулалтын баяжмал болон хаягдал эрдсүүдийн найрлагыг XRD шинжилгээгээр тодорхойлсон. Флотацийн баяжмалд (Зураг 6.а) манганы хүдрийн эрдэс болох пиролюзит болон гаусманит, кварц илэрсэн байгаа бол хаягдалд (Зураг 6.б) кварц, альбит, анортит зэрэг хүдрийн бус эрдсүүд ба хүдрийн эрдэс болох пиролюзит, гаусманит илэрсэн нь флотацийн баяжуулалтын хаягдалд манганы агуулга бага хэмжээгээр агуулагдаж буйг бататгасныг харуулж байна.

## ДҮГНЭЛТ

Унагадын манганы ордоос түүвэрлэн авсан 17.31%-ийн агуулгатай хүдрээс флотацийн аргаар өндөр металл авалттай баяжмал гарган авах баяжуулалтын туршилт хийж гүйцэтгэв. Манганы хүдрийн флотацийн үр дүнгээс харахад цуглуулагчийн зарцуулалт 1100 г/т, дарагч урвалж 670 г/т, хөөсрүүлэгч 900 г/т байх үед -0.074 мм ангийн агуулга 70% хамгийн тохиромжтой байсан ба баяжмалын гарц 22%, агуулга Mn = 27.92%, металл авалт 51.18% байв. Урвалжуудын зарцуулалтыг өөрчлөн баяжуулах туршилтыг явуулсан бөгөөд цуглуулагчийн зарцуулалт 1500 г/т, дарагч 670 г/т байх үед баяжмалын агуулга хамгийн өндөр буюу Mn = 32.37%, металл авалт 57.33% байсан. Манганы хүдрийг баяжуулах технологийн судалгааны үр дүнд манганы хүдрийг флотацийн аргаар баяжуулахад агуулга, металл авалт харьцангуй нэмэгдсэн тул тус аргаар баяжуулах боломжтой гэж үзэж байна.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. G.L. Faria, E.L. Reis, N. Jannotti, F.G.S. Araújo. (2013) Chemical, physical and typological characterization of main brazilian manganese lump ores. *Latin American applied research*, 43(1). p.17-22.
2. H. Binta, S.A. Yaro, D.G. Thomas, M.R. Dodo. (2016) Beneficiation of low grade manganese ore from Wasagu, Kebbi State, Nigeria. *Journal of Raw Materials Research*, 13(2). p.63-73.
3. H. Liang, F. Zhou, Z.Y. Wu, C. J. Yan, W.J. Luo. (2014) Surface Characteristics and Flotation Behavior of Low-Grade Manganese Ore. *In Advanced Materials Research*. 962. p.361-369.
4. В.И. Левашова, В.Н. Майстренко, Е.В. Казакова. (2012) Обогащение карбонатных марганцевых руд. *Башкирский химический журнал*. 19(4) стр.44-47.
5. S. Rath, H. Sahoo, S.K. Das, B. Das, B.K. Mishra. (2014) Influence of band thickness of banded hematite quartzite (BHQ) ore in flotation.

- International Journal of Mineral Processing*. 130. p.48-55.
6. P. Srivani, P. Noothana. (2019) Beneficiation of Manganese Ore Using Froth Flotation Technique. *Materials Today: Proceedings*. 18. p.2279-2287.
7. П. Оюунсүрэн (2016) *Ашигт малтмал баяжуулах флотацгийн арга*. Эрдэнэт хот, х.346
8. О.С. Богданова, Ю.Ф. Ненарокова. (1984) Справочник по обогащению руд. *Обогатительные фабрики / под ред.* Москва, х.358.
9. С.Ф. Шинкоренко, Е.П. Белецкий, А.А. Ширяев бусад, (1980) *Справочник по обогащению руд черных металлов*. 2 дахь хэвлэл, Москва, х.432.
10. S. Rahimi, M. Irannajad, A. Mehdilo. (2017) Effects of sodium carbonate and calcium chloride on calcite depression in cationic flotation of pyrolusite. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(8). p.1831-1840.
11. Ц. Загарзүсэм, Д. Баасанжав, Н. Сугир-эрдэнэ бусад. (2019) Манганы хүдрийг гравитацийн аргаар баяжуулах технологийн судалгаа. *Эрдэм шинжилгээний бүтээл*. №7. х.18-22.
12. Д.Н. Салихов, С.Г. Ковалев, А.И. Брусницын. (2002) Марганцевые руды. *Полезные Ископаемые Республики Башкортостан*. стр. 27.

## Technological study on the flotation process of Manganese Ore

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

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

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

---

Received: 01.10.2020

Revised: 30.11.2020

Accepted: 03.12.2020

---

**Abstract:** This study demonstrated the importance of appropriate flotation conditions and reagent dosage for the separation of standard manganese concentrates from low-grade manganese ores. The research object used Unagad manganese ore located in Dornogovi province. The main mineral of manganese ores was pyrolusite (MnO<sub>2</sub>). According to the chemical element analyses, the content of manganese in the primary ore was Mn-17.31%. XRD analyses revealed minerals such as quartz, pyrolusite, albite, anorthite, anorthoclase, orthoclase, and hausmannite. This study conducted the beneficiation of manganese ore by the froth flotation method. Manganese ore beneficiation tests were performed for the flotation method under the following conditions: the collector dosage with 900 g/t, 1100 g/t, 1300 g/t, 1500 g/t, and 1700 g/t, the dosage of the depressant as 570 g/t, 670 g/t, 770 g/t, and 870 g/t, and the frother with 900 g/t, pH value 8, the grade of -0.074 mm was 60%, 70%, 80%, 90% respectively. Beneficiation tests performed in the optimum conditions resulted in concentrate with Mn = 32.37%, the recovery was 57.33%, and the yield was 30%. As a result of the flotation enrichment of manganese ore, a concentrate containing 32.37% manganese was obtained.

**Keywords:** *Manganese concentrate, flotation, oleic acid, sodium silicate*

---

© The Author(s). 2020 **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.v0i8.1478>