УДК 622.7.017.2:622.341.1(517.3) DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-44-51

# Исследования обогатимости железных руд крупных месторождений Монголии

**Соёлмаа Ц.[1], Сугир-Эрдэнэ Н.[1], Баасанжав Д.[1], Мунхтуул Л.[1], Отгонжаргал Э.[1]***

[1] Институт химии и химической технологии Академии наук Монголии, г. Улан-Батор, Монголия

***e-mail: otgonjargale@mas.ac.mn***

***Реферат***

***Целью работы*** *является сравнительное исследование результатов обогатимости железорудных месторождений Монголии и получение железных концентратов с низким содержанием серы, что соответствует стандартным требованиям к сырью металлургического производства.*

***Методология.*** *В исследовании использованы пробы, отобранные на трех месторождениях Монголии: Тумуртэй (Худэр сомон Сэлэнгэ аймак), Тумуртолгой (Дархан-Уул аймак), Чандмань-Уул (Восточно-Гобийский аймак). Содержание железа в руде месторождения Тумуртэй составило 42,03 %, в руде месторождения Тумуртолгой – 46,57 %, а месторождения Чандмань-Уул – 43,59 %. Процесс подготовки руды на первом этапе включал дробление в щековой и валковой дробилках до крупности 1 мм. Далее на валковом индукционном магнитном сепараторе марки «Boxtage rapid LR-1,4» (Великобритания) проведено сухое магнитное обогащение мелкодробленых руд. Выполнены опыты обогащения с изменением силы тока сепаратора, при постоянной скорости вращения вала и размера между валами сепаратора. На следующем этапе концентрат сухого магнитного обогащения измельчался и подвергался мокрому магнитному обогащению. Для снижения содержания состава серы в концентратах мокрой магнитной сепарации, полученных из руд Тумуртолгой и Тумуртэй, проведены флотационные опыты с использованием флотационной машины «Denver». Анализ состава руды и продуктов обогащения выполнялся химическим методом, а также на рентгенофлуоресцентном спектрометре (XRF), рентгено-диффрактометре (XRD), сканирующем электронном микроскопе (SEM-EDX) и термогравиметрическом анализаторе TG/DTA7300.*

***Результаты.*** *Мокрое магнитное обогащение измельченных концентратов сухого магнитного обогащения всех изученных руд позволяет получить концентраты с высоким содержанием железа – от 64 до 66 %. Использование флотационного обогащения концентрата мокрого магнитного обогащения позволило достичь содержания железа в концентратах месторождений Тумуртэй, Тумуртолгой 69,02 %, 62,86 % и уменьшить содержание серы до 0,2 %, 0,48 % соответственно.*

***Областью применения*** *представленных результатов являются технологии обогащения с получением железных концентратов с низким содержанием серы, что соответствует стандартным требованиям к сырью металлургического производства.*

***Ключевые слова:*** *железная руда; содержание серы; сухое и мокрое обогащение; флотация.*

**Введение.** В настоящее время в Монголии обнаружены около 250 месторождений железных руд с запасом 5,5 млрд т. Из них 17 месторождений были подвергнуты тщательному геологоразведочному исследованию и установлены запасы около 430 млн т руды (*Опробование и технологический контроль обогатительной фабрики месторождения железных руд Тумуртэй: отчет о*

*работе. Лаборатория технологии минерального сырья Института химии и химической технологии Академии наук Монголии. 2010*).

Месторождения железной руды Монголии находятся в Северо-Монгольской, Восточно-Монгольской и Южно-Монгольской провинции. Месторождения Тумуртэй, Тумуртолгой и Чандмань-Уул, которые относятся к Северо-Монгольской провинции, были выбраны авторами для дальнейших исследований.

Главным рудным минералом месторождения Тумуртэй является магнетит – 53,6 %, главные нерудные минералы – кварц, силикаты, в том числе полевые шпаты. В месторождении Тумуртолгой преобладает магнетит – 85,83 %, в месторождении Чандмань-Уул – оксиды железа 70,26 %. Из минералов, содержащих фосфор и серу, преобладают апатит, пирит и пирротин [1].

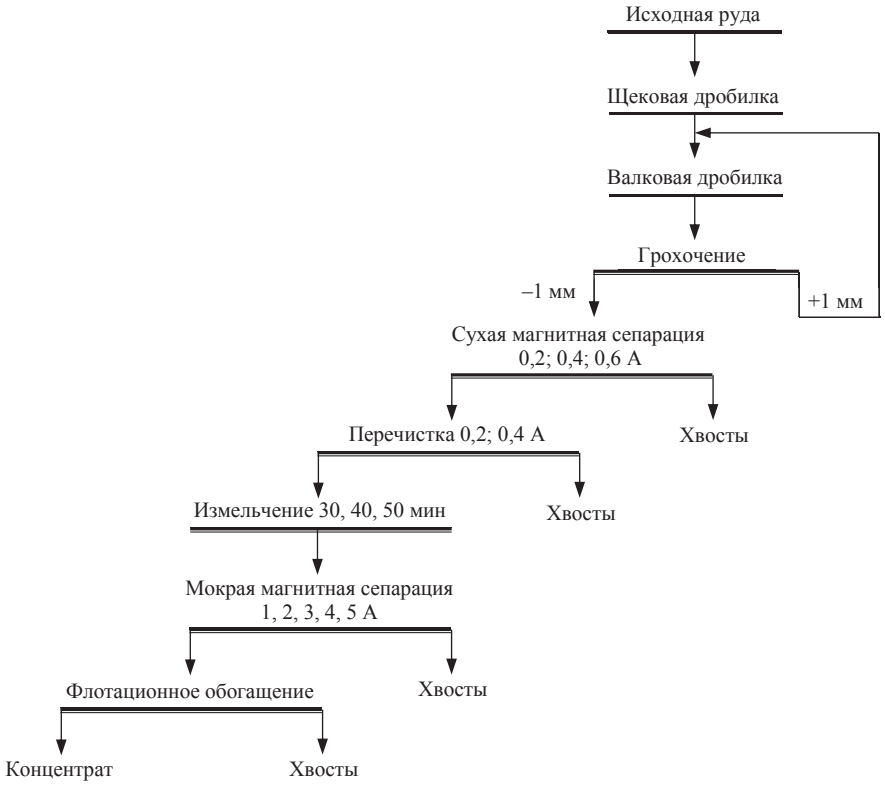


Рис. 1. Технологическая схема обогащения исследуемых проб
Fig. 1. Processing flow chart for the samples under investigation

Добываемое в Монголии железорудное сырье характеризуется сложной структурой с повышенным содержанием вредных примесей, таких как кварц и сера. Для удовлетворения возрастающих требований к качеству железных концентратов, поступающих на дальнейшую металлургическую переработку, необходимо снизить содержание вредных примесей. Для этой цели используются флотационный метод, обжиг, выщелачивание концентрата кислотами. Флотационная доводка магнетитовых концентратов, выделенных из железистых кварцитов магнитной сепарацией, является эффективным способом снижения содержания в них серы [2–5].

**Методика проведения исследований.** В исследовании использованы пробы, отобранные на трех месторождениях Монголии: Тумуртэй (Худэр сомон Сэлэнгэ аймак), Тумуртолгой (Дархан-Уул аймак), Чандмань-Уул (Восточно-Гобийский аймак).

Пробы руд сначала были перемешаны конусно-кольцевым методом, затем от них были отобраны пробы для химических анализов и лабораторных опытов. Содержание железа в руде месторождения Тумуртэй составляло 42,03 %, в руде месторождения Тумуртолгой – 46,57 %, месторождения Чандмань-Уул – 43,59 % .

Материал для опытов дробился в две стадии, в первой на щековой дробилке, во второй – на валковой дробилке в замкнутом цикле с грохочением по крупности 1 мм.

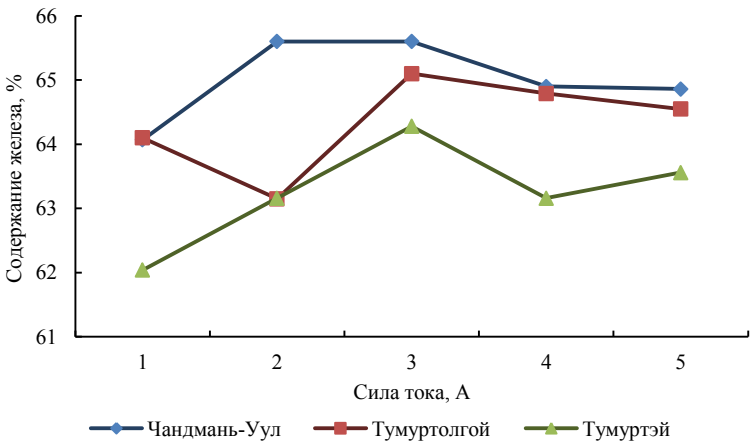


Рис. 2. Влияние силы тока в катушке мокрого магнитного сепаратора на содержание железа в концентрате
Fig. 2. The effect of the electric current in the coil of a wet magnetic separator on the iron content in the concentrate

Далее с использованием валкового индукционного магнитного сепаратора марки «Boxmage rapid LR-1,4» (Великобритания) проведено сухое магнитное обогащение мелкодробленых руд. Для сухого магнитного обогащения были отобраны 3 пробы, каждая массой 0,5 кг. Проведены опыты обогащения с изменением силы тока сепаратора в обеих операциях сухой магнитной сепарации при постоянной скорости вращения вала и размера между валами сепаратора.

На следующем этапе концентрат, полученный после сухого магнитного обогащения, подвергнут измельчению и мокрому магнитному обогащению. Чтобы уменьшить содержание серы в концентратах из руд месторождений Тумуртолгой и Тумуртэй проведены флотационные опыты с использованием флотационной машины «Denver» производства Великобритании.

При определении состава руд и продуктов обогащения использованы химический анализ и рентгенофлуоресцентный анализ (XRF), анализ состава концентрата выполнялся на рентгеновском диффрактометре (XRD), содержание элементов в концентратах мокрого магнитного обогащения и флотации определялось на сканирующем электронном микроскопе с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (SEM-EDX), а термогравиметрический анализ осуществлен при помощи анализатора марки TG/DTA7300 [6–8].

Технологическая схема обогащения проб приведена на рис. 1.

**Результаты и их обсуждение.** *Сухое магнитное обогащение.* Пробы железных руд раздробили до 1 мм перед сухим магнитным обогащением, а затем провели опыты при варьировании силы тока сепаратора. При проведении обогащения содержание железа в концентрате месторождений Тумуртэй и Тумуртолгой достигает максимального значения – 49,84 % и 54,75 % соответственно. Для руды месторождения Чандмань-Уул наилучшие результаты обогащения по содержанию железа – 56,7 %.

*Мокрое магнитное обогащение.* При мокром магнитном обогащении большое влияние на результат оказывает крупность раскрытия рудных и нерудных минералов. Поэтому до мокрого магнитного обогащения руды поставлены опыты по определению режима измельчения. Руда измельчалась в течение 10, 20, 30, 40, 60 мин в шаровой мельнице. При измельчении в течение 40 мин проб руд всех трех месторождений содержание фракции –0,074 мм возрастает до 80 %. В дальнейшем при подготовке к обогащению измельчение проводили в течение 40 мин.

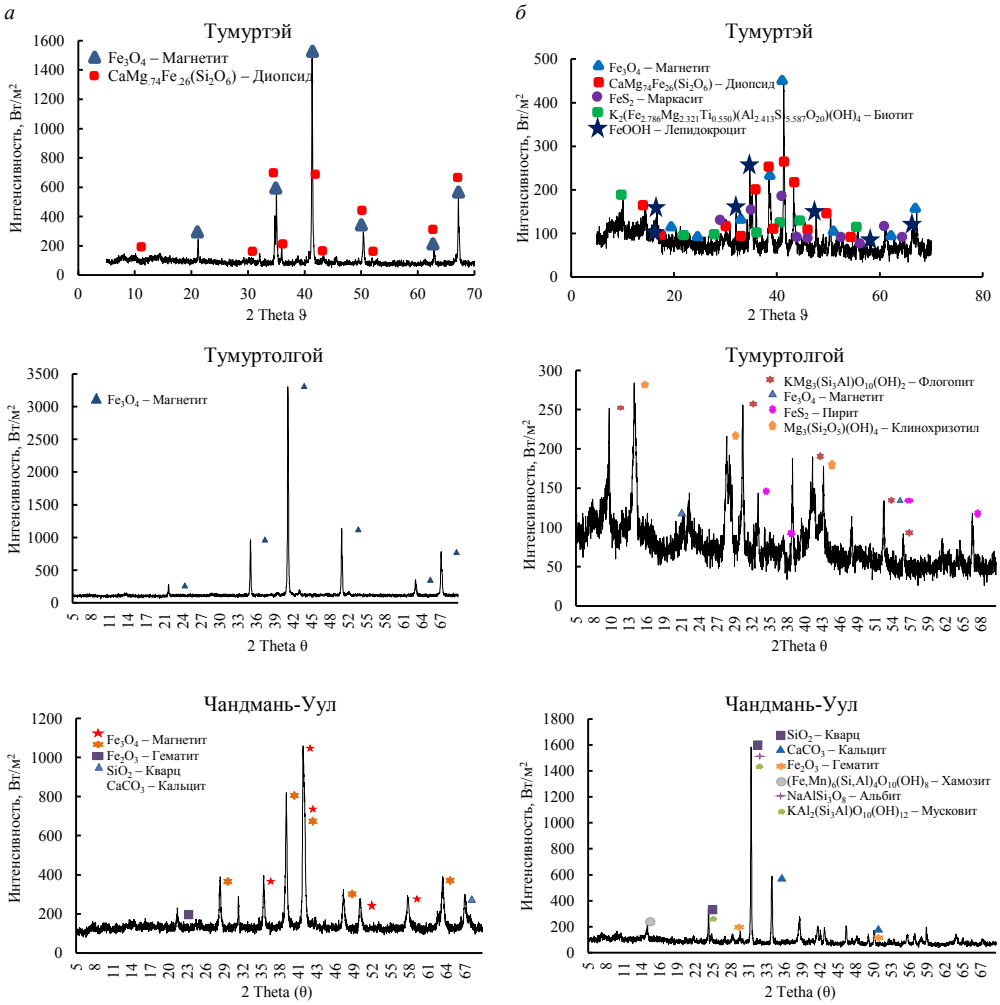


Рис. 3. Результаты анализа XRD:
*а* – концентрат; *б* – хвосты
Fig. 3. Results of XRD analysis:
*а* – concentrate; *б* – tailings

На рис. 2 показаны результаты мокрого магнитного обогащения руды, измельченной в течение 40 мин. Из результата опытов видно, что содержание железа в концентрате из всех руд, полученном при мокром магнитном обогащении (сила тока 3 А) имеет максимальные значения: в концентрате месторождения Чандмань-Уул – 66,24 %, Тумуртолгой – 65,1 %, Тумуртэй – 64,28 % соответственно.

Результаты рентгенодифрактометрического анализа (XRD) доказывают, что в хвосты выводятся немагнитные минералы (силикаты, глинистые минералы),

а в концентрате остаются магнитные минералы. Результаты анализа XRD показаны на рис. 3.

*Флотационное обогащение.* Результаты исследования показали, что в концентрате мокрой магнитной сепарации из руды месторождения Чандмань-Уул содержание серы невелико. Что касается оставшихся двух месторождений, то в них содержание серы в концентрате мокрой магнитной сепарации намного превышает допустимый уровень, что не соответствует установленным требованиям, предъявляемым к использованию в металлургическом производстве. Руда, идущая на доменную плавку, должна содержать не более 0,03 % серы [9–12].

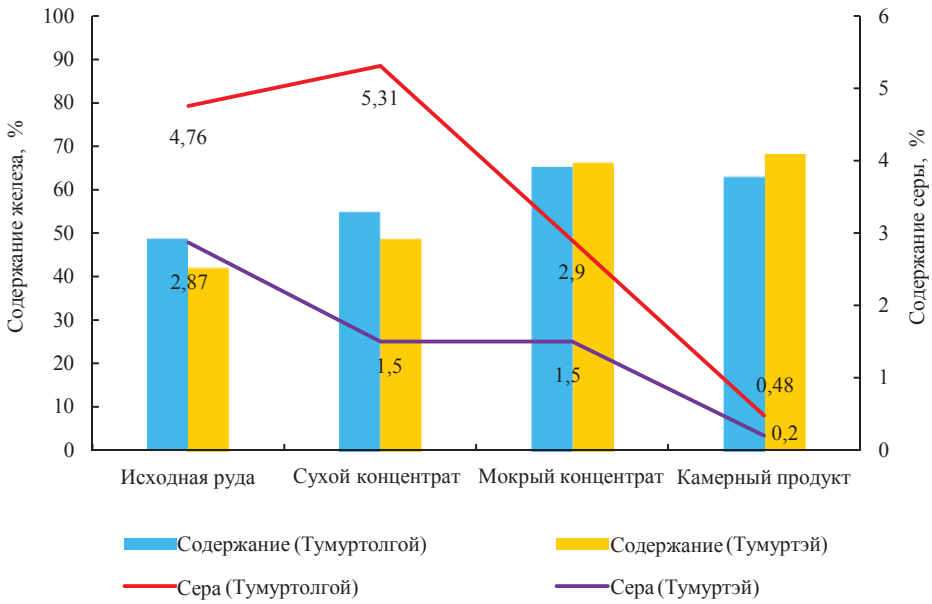


Рис. 4. Содержание железа и серы в флотационном концентрате месторождений Тумуртолгой, Тумуртэй
Fig. 4. Iron and Sulphur content in the flotation concentrate of the deposits of Tumurtei and Tumurtolgoi

Поэтому для снижения содержания серы предложено применить метод обратной флотации в кислой среде с использованием в качестве собирателя бутилового ксантогената пенообразователя МИБК. Целью данной операции являлось уменьшение в концентрате (камерном продукте) пирита ($FeS_2$) и увеличение содержания железа. Результаты данного исследования показаны на рис. 4.

Результаты флотационного обогащения концентрата, полученного после двух стадий магнитного обогащения, показали эффективность флотационной обработки. Содержание железа в конечном концентрате из руд месторождений Тумуртэй и Тумуртолгой достигло 69,02 % и 62,86 % соответственно. Такая обработка позволила снизить содержание серы в концентратах до 0,2 %, 0,48 % соответственно, что укладывается в стандарт концентрата металлического производства.

Результаты анализа SEM-EDX продуктов флотации показывают, что в концентрате содержится магнетит, а в хвостах – пирит и пирротин, что также свидетельствует о концентрации серосодержащих минералов в хвостах (рис. 5).

**Выводы.** При сухой магнитной сепарации содержание железа в концентратах месторождений Тумуртэй, Тумуртолгой и Чандмань-Уул достигло 49,84 %; 59,75 %; 56,7 % соответственно.

При измельчении в течение 40 мин руды исследуемых месторождений содержание класса –0,074 мм возрастает до 80 %, это благоприятно сказывается на эффективности мокрого магнитного обогащения, что иллюстрируется содержанием железа в концентратах.

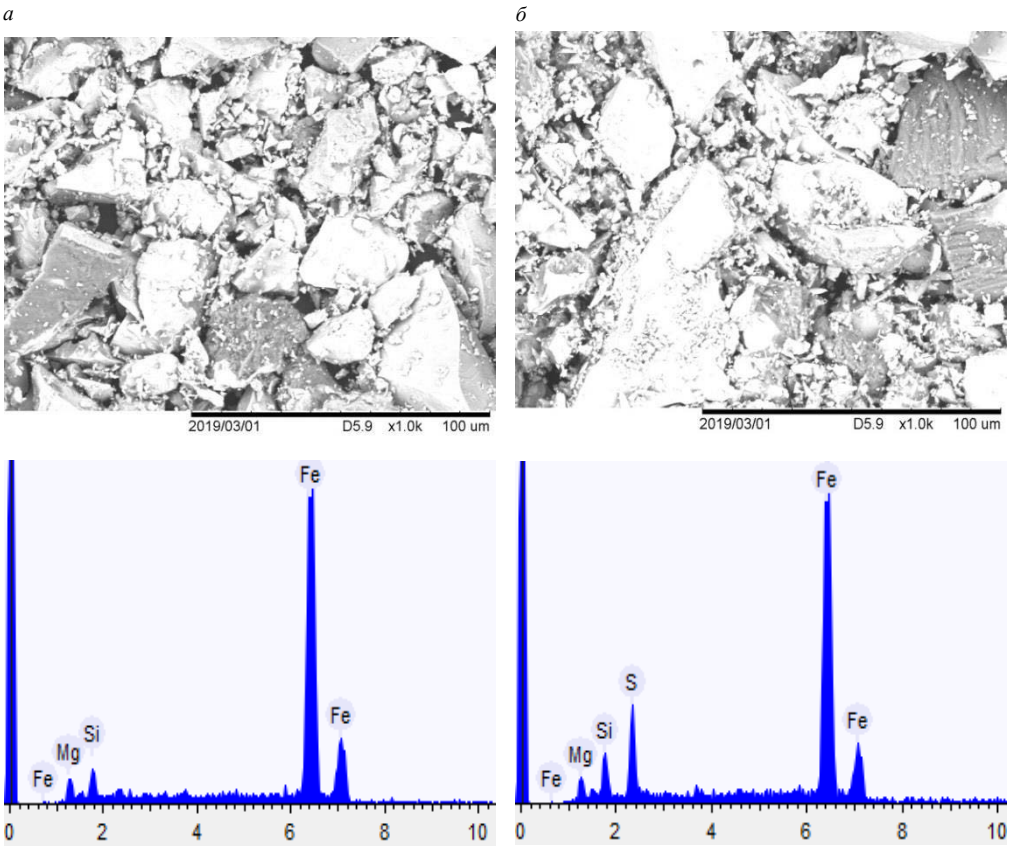


Рис. 5. Анализ SEM-EDX на концентрате – *а* и хвостах – *б* флотации
Fig. 5. SEM-EDX analysis at flotation concentrates – *a* and tailings – *б*

Использование флотационного обогащения концентрата мокрого магнитного обогащения позволило достичь содержания железа в конечных концентратах из руд месторождений Тумуртэй и Тумуртолгой 69,02 % и 62,86 % и уменьшить содержание серы до 0,2 % и 0,48 % соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mavlet U., Enebish B. Mongol ulsiin erdsiin baylag. UB, 2000. 26 p.
2. Справочник по обогащению руд. Обогатительные фабрики / под ред. О. С. Богданова, Ю. Ф. Ненарокова. М.: Недра, 1984. 358 с.
3. Копкова Е. К., Склокин Л. И. Гидрохлоридная экстракционная технология высокочистого оксида железа из магнетитовых концентратов // Химическая технология. 2005. № 11. С. 25–27.
4. Способ доводки магнетитовых концентратов: пат. RU 2189867 Рос. Федерация. № 2000124159/03; заявл. 21.09.2000; опубл. 27.09.2002. Бюл. № 9.
5. Способ переработки сульфидных медьсодержащих полидисперсных материалов: пат. RU 2298587 Рос. Федерация. № 4853683/02; заявл. 23.07.1990; опубл. 20.08.1996.
6. Deer W. A., Howie R. A., and Zussman J. Rock-forming minerals. 1962. Vol. 5. Non-silicates. P. 21–27.
7. Blake R. L., Hessevick R. E., Zoltai T., and Finger L. W. Refinement of the hematite structure. Amer. Mineral. 1966. No. 51. P. 123–129.
8. Maslen E. N., Streltsov V. A., Streltsova N. R., and Ishizawa N. (1994). Synchrotron X-ray study of the electron density in $Fe_2O_3$. Acta Cryst. 1994. No. 50. P. 435–441.

9. Геблер И. В., Витюгин В. М., Фукс О. А., Негодина Н. Я. Холодное обессеривание железорудных концентратов // Известия Томского политехнического института. 1967. Т. 148. С. 101–105.

10. Baasanjav D., Sugir-Erdene N., Orgilbayar B. Tumurtein ordiin tumriin khudriin soronzon-flotatsiin khosolson argaar bayajuulj, khukhriig buuruulakh tekhnologiin sudalgaa // SHUTIS-iin erdem shinjilgeenii bvteeliin ebkhetgel. UB. 2018. No. 5(232). P. 12–17.

11. Orgilbayar B., Sukhbat S., Sugir-Erdene N. Tumriin khudriin erdes bvrdel, khimiin nairlaga // SHUTIS-iin erdem shinjilgeenii bvteeliin emkhetgel. UB. 2018. No. 5(232). P. 94–97.

12. Bayaraa S., Guanghui Li. Effect of modified humic acid (mha) binder on roasting behavior of mongolian tumurtei iron concentrate briquettes // Mineral Processing. 2018. P. 140–147.

Поступила в редакцию 17 октября 2019 года

**Сведения об авторах:**

**Соёлмаа Цолхуу** – магистр технических наук, научный сотрудник лаборатории технологии минерального сырья Института химии и химической технологии Академии наук Монголии. E-mail: soyolmaa.ts@mas.ac.mn

**Сугир-Эрдэнэ Намсрай** – магистр технических наук, научный сотрудник лаборатории технологии минерального сырья института химии и химической технологии Академии наук Монголии. E-mail: sugirerdenen@mas.ac.mn

**Баасанжав Дашцэрэн** – магистр технических наук, научный сотрудник лаборатории технологии минерального сырья Института химии и химической технологии Академии наук Монголии. E-mail: baasanjavd@mas.ac.mn

**Мунхтуул Лхамсурэн** – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории углехимической технологии Института химии и химической технологии Академии наук Монголии. E-mail: munkhtuul@yandex.ru

**Отгонжаргал Энхтур** – кандидат химических наук, заведующий лабораторией технологии минерального сырья Института химии и химической технологии Академии наук Монголии. E-mail: otgonjargale@mas.ac.mn

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-44-51

## Comparative study on concentration properties of iron deposits (Mongolia)

**Ts. Soiolmaa[1], N. Sugir-Erdene[1], D. Baasanzhav[1], L. Munkhtuul[1], E. Otgonzhargal[1]**

[1] Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbataar, Mongolia.

***Abstract***

***Research aims*** *to compare magnetic flotation results of iron deposits of Mongolia in order to obtain iron concentrate with low sulfur content that meets the standard of raw materials for metallurgical production.*

***Research methodology.*** *Representative samples were taken from Tumurtei deposit in Khuder soum (Selenge province), Tumur Tolgoi deposit (Darkhan-Uul province) and Chandmani Uul deposit (Dornogobi province). Iron grade in the primary ore from Tumurtei deposit was 42.03%, in Tumurtolgoi ore – 46.57% and in Chandmani-Uul ore–43.59%. The ore was crushed into 1 mm size through java crusher and gyratory crusher for the first stage. Dry magnetic concentration was conducted on the ore samples using Boxmag Rapid LR-1.4 Induced Magnetic Separator (the UK). The test work was conducted under the condition when the distance between gyrator of separator and rotation speed are constant and by this time magnetic strength was changed. At the next stage the concentrate of dry magnetic concentration was processed by wet magnetic separation. In order to reduce the sulfur content in the ore from Tumur tolgoi and Tumurtei deposits, flotation experiments were also conducted using UK Denver flotation machine. Ore and concentrator grade were determined using traditional titer method and X-ray fluorescence spectrometer (XRF), the mineral contents was analyzed by X-ray powder diffraction (XRD), elements in product of wet magnetic separator and final concentrate were analyzed using SEM-EDX, the thermal-gravy meter analysis was conducted using instrument TG/DTA7300.*

***Results.*** *Wet magnetic concentration of dry magnetic separation concentrates of all the studied ore allow obtaining concentrates with the high content of iron – from 64% to 66%. Flotation of the concentrate of wet magnetic concentration made it possible to reach iron content in Tumurtei and Tumurtolgoi deposits of 69.02% and 62.86% correspondingly and reduce Sulphur content to 0.2%, 0.48% correspondingly.*

***This study*** *covers the field of flotation technology to extract products with lower sulfur content which meet standard of modern metallurgical industry.*

***Key words:*** *iron ore; sulfur content; dry and wet flotation; flotation.*

REFERENCES

1. Mavlet U., Enebish B. *Mongol ulsiin erdsiin baylag*. UB, 2000. 26 p.

2. Bogdanov O. S., Nenarokov Iu. F. (eds.) *Guide to ore dressing. Processing plants*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)

3. Kopkova E. K., Sklokin L. I. Hydrochloride extraction technology of high purity iron oxide from magnetite concentrates. *Khimicheskaia tekhnologiia = Chemical Engineering*. 2005; 11: 25–27. (In Russ.)

4. Kameneva E. E., Filimonova N. M., Andronov G. P., Ivanova V. A. *Method of final concentration of magnetite concentrates*. Patent RF no. 2000124159/03; 2002. (In Russ.)

5. Morozov I. P., Lopatin M. Iu. *Method of processing sulfide copper-containing poly-dispersed materials*. Patent RF no. 4853683/02; 1996. (In Russ.)

6. Deer W. A., Howie R. A., and Zussman J. *Rock-forming minerals*. 1962. Vol. 5. *Non-silicates*. P. 21–27.

7. Blake R. L., Hessevick R. E., Zoltai T., and Finger L. W. Refinement of the hematite structure. *Amer. Mineral*. 1966. No. 51. P. 123–129.

8. Maslen E. N., Streltsov V. A., Streltsova N. R., and Ishizawa N. (1994). Synchrotron X-ray study of the electron density in $Fe_2O_3$. *Acta Cryst*. 1994. No. 50. P. 435–441.

9. Gebler I. V., Vitiugin V. M., Fuks O. A., Negodina N. Ia. Cold desulphurization of iron-ore concentrates. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo instituta im. S. M. Kirova = Bulletin of the S. M. Kirov Tomsk Polytechnic Institute*. 1967; 148: 101–105. (In Russ.)

10. Baasanjav D., Sugir-Erdene N., Orgilbayar B. Tumurtein ordiin tumriin khudriin soronzon-flotatsiin khosolson argaar bayajuulj, khukhriig buuruulakh tekhnologiin sudalgaa. *SHUTIS-iin erdem shinjilgeenii bvteeliin ebkhetgel*. UB. 2018; 5(232): 12–17.

11. Orgilbayar B., Sukhbat S., Sugir-Erdene N. Tumriin khudriin erdes bvrdel, khimiin nairlaga. *SHUTIS-iin erdem shinjilgeenii bvteeliin emkhetgel*. UB. 2018; 5(232): 94–97.

12. Bayaraa S., Guanghui Li. Effect of modified humic acid (MHA) binder on roasting behavior of Mongolian Tumurtei iron concentrate briquettes. *Mineral processing*. 2018: 140–147.

Received 17 October 2019

**Information about authors:**

**Tsolkhuu Soiolmaa** – Master of Engineering, researcher, Laboratory of Crude Minerals Technology, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences. E-mail: soyolmaa.ts@mas.ac.mn

**Namsrai Sugir-Erdene** – Master of Engineering, researcher, Laboratory of Crude Minerals Technology, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences. E-mail: sugirerdenen@mas.ac.mn

**Dashtseren Baasanzhav** – Master of Engineering, researcher, Laboratory of Crude Minerals Technology, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences. E-mail: baasanjavd@mas.ac.mn

**Lkhamsuren Munkhtuul** – PhD (Engineering), researcher, Laboratory of the Coal-Chemical Technology, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences. E-mail: munkhtuul@yandex.ru

**Enkhtur Otgonzhargal** – PhD (Chemical sciences), Head of the Laboratory of Crude Minerals Technology, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences. E-mail: otgonjargale@mas.ac.mn

**Для цитирования:** Соёлмаа Ц., Сугир-Эрдэнэ Н., Баасанжав Д., Мунхтуул Л., Отгонжаргал Э. Исследования обогатимости железных руд крупных месторождений Монголии // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 2. С. 44–51. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-44-51

**For citation:** Soiolmaa Ts., Sugir-Erdene N., Baasanzhav D., Munkhtuul L., Otgonzhargal E. Comparative study on concentration properties of iron deposits (Mongolia). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 2: 44–51 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-44-51