УДК 622.7 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-88-93

# Характеристика отсевов тяжелосредного обогащения магнезита как перспективного техногенного сырья

**Смирнов А. Н.[1], Гришин И. А.[1]*, Масалимов А. В.[1]**
[1] Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия
***e-mail: igorgi@mail.ru***

## *Реферат*

***Введение.*** *В настоящей статье рассматривается возможность применения техногенного сырья для производства магнезии и оксида магния. Проводится анализ обеспеченности отечественной промышленности магнезитом и магнезиальным сырьем. Отмечено, что перспективным источником такого вида сырья могут являться техногенные образования – отсевы магнезита, образующиеся при переработке руд тяжелосредной сепарацией. Установлено, что данный вид сырья малоизучен.*

***Методика проведения исследований.*** *Обоснованы применяемые методы исследований для установления количества и формы нахождения оксида магния в отсевах магнезита Саткинского месторождения.*

***Результаты и обсуждение.*** *Значительный объем отсевов, как текущих, так и накопленных на площадке в г. Сатка, и их химический состав позволяет рассматривать их как перспективное техногенное сырье, из которого может быть получен ценный продукт – оксид магния. В работе представлено распределение оксида магния по классам крупности. На основании элементного анализа решено признать изучаемый объект пригодным для переработки минеральным сырьем. Проведенный термогравиметрический анализ отсевов магнезита позволил установить формы нахождения оксида магния в материале.*

***Выводы.*** *Анализ полученных результатов позволяет утверждать о возможности переработки изучаемого техногенного сырья, но наличие оксида магния в составе твердых растворов с карбонатом кальция предопределяет использование химических методов обогащения.*

***Ключевые слова:*** *магнезит; техногенное сырье; магнезия; оксид магния; переработка.*

**Введение.** На сегодняшний день в России наблюдается дефицит магнезита и магнезиального сырья, связанный как с ухудшением сырьевой базы, так и со снижением объемов добычи и переходом на подземные методы разработки [1–4]. При этом потребность в магнезите и продуктах его переработки (магнезии, периклазе, оксиде магния) возрастает на 5–7 % ежегодно [5–7]. Вследствие этого в России наблюдается дефицит, составляющий около 30 % от объема добычи, компенсируемый в настоящее время за счет импорта. Существующие значительные запасы магнезита (806 млн т по категориям А + В + С1) труднодоступны и находятся в значительном удалении от существующей инфраструктуры [1, 3], что требует значительных инвестиций и не позволяет освоить их в ближайшее время. Таким образом, актуальной становится задача поиска источников доступного магнезиального сырья, которое может быть вовлечено в производство. Одним из перспективных направлений расширения сырьевой базы является вовлечение забалансовых и техногенных источников. Таким источником могут быть отсевы магнезита крупностью –8 мм, которые в настоящее время по технологии тяжелосредного обогащения сбрасываются в хвосты.

Существуют исследования процесса переработки отсевов магнезита и альтернативного магнезиального сырья [8–11], показывающие возможность их обога-

щения, однако ни в одном из них комплексно не изучались непосредственно отсевы магнезита. В работах [8–12] изучались возможности получения продукта путем подшихтовки в технологический процесс отсевов магнезита, но не рассматривалась переработка этого материала по отдельной технологии как самостоятельного техногенного сырья.

**Таблица 1. Средний химический состав отсевов магнезита фракции –8,0+0,0 мм Саткинского месторождения**
**Table 1. The average chemical composition of –8.0+0.0 mm magnesite screenings of the Satka deposit**

| Образец | Массовая доля, % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MgO | CaO | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | S | ППП |
| Непрокаленный | 44,04 | 2,22 | 0,50 | 1,83 | 0,96 | 0,15 | 49,43 |
| Прокаленный | 89,1 | 4,5 | 1,01 | 3,7 | 1,95 | 0,31 | – |

**Методика проведения исследований.** Объектом исследований стали четыре технологические пробы отсевов магнезита Саткинского месторождения массой от 247 до 483 кг, крупностью –8 мм. Для проведения исследований использовались стандартные методы ситового анализа, комплексонометрические и атомно-абсорбционный методы определения оксида магния в соответствии с ГОСТ 2642.8-2017. Термогравиметрический анализ проводился с использованием установки PYRIS Diamond TG/DTA.

**Таблица 2. Химический состав прокаленного магнезита Саткинского месторождения в зависимости от фракции**
**Table 2. Chemical composition of calcined magnesite at the Satka deposit depending on the fraction**

| Фракция, мм | | Содержание, масс. % | | |
|---|---|---|---|---|
| | | MgO | CaO | $SiO_2$ |
| 150–60 | мин. | 91,8 | 5,2 | 0,82 |
| | макс. | 93,5 | 7,4 | 1,32 |
| | среднее | 92,7 | 6,3 | 1,10 |
| 60–8 | мин. | 93,0 | 4,3 | 0,85 |
| | макс. | 94,9 | 5,8 | 1,22 |
| | среднее | 94,0 | 5,1 | 1,00 |
| 8–0 | мин. | 88,2 | 3,8 | 3,53 |
| | макс. | 90,0 | 5,2 | 3,96 |
| | среднее | 89,1 | 4,5 | 3,70 |

**Результаты и обсуждение.** Магнезит, добываемый в настоящее время из Саткинского месторождения, подвергается гравитационному тяжелосредному обогащению. Однако в переработку вовлекается только сырье крупностью не менее 8 мм. Фракция –8,0+0,0 мм выделяется перед процессом сепарации и направляется на хранение. Средний химический состав магнезита фракции –8,0+0,0 мм представлен в табл. 1. Сравнение химического состава магнезита и его отсевов по фракциям представлено в табл. 2. Установлено, что во фракции –8,0+0,0 мм присутствуют в значительном количестве нежелательные примеси и относительно низкое содержание оксида магния – до 90 % в полностью прокаленном состоянии.

Отсевы магнезита фракции –8,0+0,0 мм Саткинского месторождения характеризуются неоднородным гранулометрическим составом, что подтверждает результаты анализа распределения оксида магния по фракциям, представленные в табл. 3.

**Таблица 3. Результаты ситового анализа отсевов магнезита фракции –8,0+0,0 мм Саткинского месторождения, %**
**Table 3. The screen analysis results of –8.0+0.0 mm magnesite screenings at the Satka deposit, %**

| Фракция | Партия № 1 | Партия № 2 | Партия № 3 | Партия № 4 | Среднее |
|---|---|---|---|---|---|
| +2,0 | 48,73 | 34,10 | 15,59 | 13,43 | 27,96 |
| –2,0+1,0 | 32,00 | 27,15 | 19,48 | 18,26 | 24,22 |
| –1,0+0,5 | 10,66 | 16,21 | 19,28 | 20,14 | 16,57 |
| –0,5+0,1 | 3,44 | 14,58 | 33,23 | 43,83 | 23,77 |
| –0,100+0,063 | 0,77 | 2,12 | 4,58 | 1,59 | 2,27 |
| –0,063+0,000 | 4,40 | 5,84 | 7,84 | 2,74 | 5,21 |

В среднем содержание MgO во фракции –0,5+0,0 мм составляет 31,2 %. Такая неоднородность может оказывать влияние на химический состав получаемой из этого сырья магнезии. В табл. 4 представлены данные химического состава отсевов магнезита фракции –8,0+0,0 мм после разделения ее на классы крупности –8+0,5 мм и –0,5+0,0 мм.

**Таблица 4. Химический состав отсевов магнезита фракции –8,0+0,0 мм после разделения на сите 0,5 мм**
**Table 4. The chemical composition of –8.0+0.0 mm magnesite screenings after separating on a 0.5 mm sieve**

| Материал | % | MgO | CaO | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | S | ППП |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Отсевы –8,0+0,0 мм | 100 | 89,1 | 4,5 | 1,01 | 3,7 | 1,95 | 0,26 | 49,43 |
| –8,0+0,5 мм | 66,9 | 88,5 | 4,66 | 0,83 | 2,95 | 1,81 | 0,25 | 49,49 |
| –0,5+0,0 мм | 33,1 | 90,5 | 3,80 | 1,18 | 4,20 | 1,90 | 0,28 | 49,15 |

На основании представленных данных (табл. 4 и 5) установлено, что класс крупности –0,5+0,0 мм содержит на 0,5 % больше кремнезема и на 0,6 % больше оксида магния, чем исходный материал.

При этом отсевы магнезита могут представлять интерес для дальнейшей переработки ввиду того, что содержание MgO все еще достаточно высокое.

Согласно данным термогравиметрического исследования (рис. 1) можно утверждать, что диссоциация всех минералов в классе –0,5 мм полностью завершается при температуре 800 °C, достигая уменьшения массы на 50 %, и при дальнейшем нагревании не изменяется. Определены три основных пика разложения при следующих температурах 504,9 °C, 671,3 °C и 773,7 °C. Установлено, что разложение образца начинается при температуре около 476 °C и достигает максимума при 671,3 °C. Разложение основного минерала – карбоната магния – завершается к 711,2 °C, при этом убыль массы образца составляет 38 %. При дальнейшем подъеме температуры продолжаются процессы диссоциации доломитов, представляющих собой непрерывный ряд твердых растворов.

На графиках дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) наблюдаются 2 пика, расположенные идентично доломиту, однако с иными пропорциями.

Это свидетельствует о большем расходе тепла на разложение карбоната магния, чем карбоната кальция.

На графике разложения отсевов магнезита не наблюдается горизонтальных участков, что свидетельствует о том, что протекающие процессы разложения идут непрерывно и, следовательно, все минералы находятся в единой кристаллической решетке, то есть представляют собой твердые растворы в магнезите. Таким образом, можно утверждать, что для переработки отсевов магнезита могут быть применены только химические методы обогащения, ввиду необходимости разрушить систему твердых растворов.

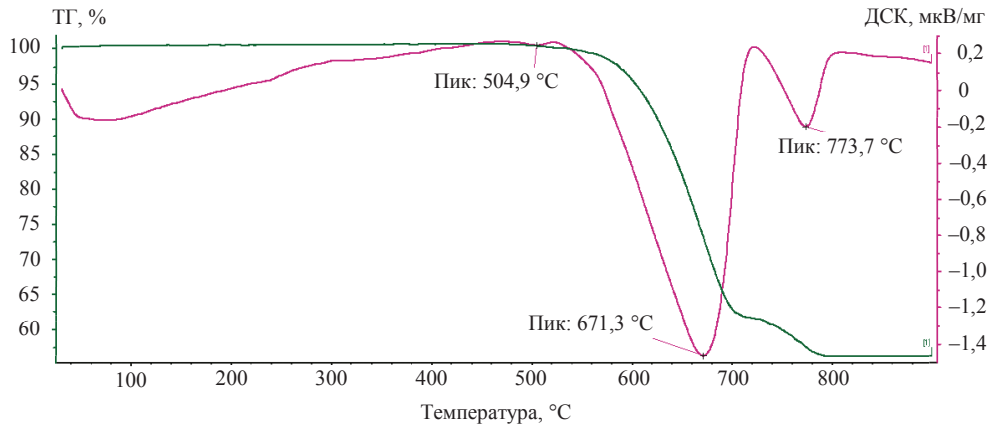


Рис. 1. Термограмма разложения отсевов магнезита фракции 8,0–0,0 мм
Fig. 1. Thermogram of 8.0–0.0 mm magnesite screenings decomposition

**Выводы.** Отсевы магнезита фракции 8,0–0,0 мм можно рассматривать как ценное магнезиальное сырье, которое может быть подвергнуто обогащению. Основными проблемами являются неравномерность распределения элементов по фракциям, а также существование основного минерала магнезита в составе твердых растворов с карбонатами кальция и железа, что предопределяет необходимость применения химических методов обогащения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербакова Т. А., Шевелев А. И. Сырьевая база магнезита России и перспективы ее развития // Георесурсы. 2016. № 1. С. 75–78.

2. Официальный сайт U.S. Geological Survey. URL: http://minerals.usgs.gov/ (дата обращения 20.09.2016).

3. Шевелев А. И., Сабитов А. А., Тимесков В. А., Тохтасьев В. С., Коплус А. В. Нерудное металлургическое сырье России // Разведка и охрана недр. 2005. № 9. С. 15–19.

4. Пальгова А. Ю. Обзор мировых запасов магнезиального сырья // Молодой ученый. 2015. № 3. С. 193–196.

5. Смирнов А. Н. Основные тенденции развития рынка огнеупорных материалов, 2014 г. URL: http://steellab.com.ua/news/2014/01/01.php (дата обращения 02.02.2021).

6. Аксельрод Л. М. Развитие огнеупорной отрасли – отклик на запросы потребителей // Новые огнеупоры. 2013. № 3. С. 107–122.

7. Kramer D. Magnesium compounds, U. S. Geological Survey – minerals information. URL: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/magnesium/401496. pdf (дата обращения 02.02.2021).

8. Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Назмиев М. И., Мануйлова Е. В. Многоподовая печь группы Магнезит для термообогащения магнезита // Новые огнеупоры. 2016. № 3. С. 20–21.

9. Клочковский С. П., Смирнов А. Н., Савченко И. А. Разработка физико-химических основ комплексного использования высокомагнезиальных сидеритов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2015. № 1(49). С. 26–31.

10. Турчин М. Ю., Масалимов А. В., Смирнов А. Н., Гришин И. А. Получение высокоактивной магнезии: моделирование и эксперимент // Новые огнеупоры. 2019. № 5. С. 92–95.

11. Способ термомеханического обогащения магнезита в печах косвенного нагрева: пат. 2595120 Рос. Федерация. № 2015123504/03; заявл. 17.06.2015; опубл. 20.08.2016. Бюл. № 23. 12 с.

12. Klochkovskii S., Smirnov A., Shabalina U. Thermodynamic and Kinetic Study of Leaching Magnesia from Natural Magnesites by Carbon Dioxide // Defect and Diffusion Forum. 2011. Vol. 309–310. P. 261–264.

Поступила в редакцию 10 февраля 2021 года

**Сведения об авторах:**

**Смирнов Андрей Николаевич** – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры металлургии и химической технологии Магнитогорского государственного технического университета имени Г. И. Носова. E-mail: sman@magtu.ru
**Гришин Игорь Анатольевич** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета имени Г. И. Носова. E-mail: igorgi@mail.ru
**Масалимов Алексей Валерьевич** – аспирант кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета имени Г. И. Носова. E-mail: a.v.masalimov@yandex.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-88-93

# Characterizing magnesite heavy-media separation screenings as promising technogenic raw materials

**Andrei N. Smirnov[1], Igor A. Grishin[1], Aleksei V. Masalimov[1]**
[1] Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

***Abstract***
***Introduction.*** *This article discusses the possibility of using technogenic raw materials for the production of magnesia and magnesium oxide. The analysis of domestic industry supply with magnesite and magnesian raw materials is presented. Man-made minerals, such as magnesite screenings, produced in the course of heavy-media separation of ore, are noted to be a promising source of this type of raw material. It has been established that this type of raw material is poorly studied.*
***Research methodology.*** *The applied research methods were substantiated to establish the amount and form of magnesium oxide in the magnesite screenings of the Satka deposit.*
***Results and discussion.*** *A significant amount of both current and accumulated screenings at the site in Satka and their chemical composition allow us to consider them as a promising technogenic raw material for magnesium oxide production. The work has determined the distribution of magnesium oxide by size classes. On the basis of elemental analysis, it was decided to recognize the object under study as a suitable mineral for processing. The thermogravimetric analysis of magnesite screenings made it possible to establish the forms of magnesium oxide in the material.*
***Conclusions.*** *Analysis of the results obtained allows us to assert the possibility of processing the studied technogenic raw materials, but the presence of magnesium oxide in the composition of solid solutions with calcium carbonate predetermines the use of chemical enrichment methods.*

***Key words:*** *magnesite; technogenic raw materials; magnesia; magnesium oxide; processing.*

REFERENCES

1. Shcherbakova T. A., Shevelev A. I. Magnesite mineral base in Russia and its development prospects. *Georesursy = Georesources*. 2016; 1: 75–78. (In Russ.)
2. *U.S. Geological Survey*. Available from: http://minerals.usgs.gov [Accessed 20 September 2016].
3. Shevelev A. I., Sabitov A. A., Timeskov V. A., Tokhtasiev V. S., Koplus A. V. Non-metallic metallurgical raw material in Russia. *Razvedka i okhrana nedr = Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2005; 9: 15–19. (In Russ.)
4. Palgova A. Iu. Survey of world magnesial raw material stock. *Molodoi uchenyi = Young Scientist*. 2015; 3: 193–196. (In Russ.)
5. Smirnov A. N. *The main trends in refractory market, 2014*. Available from: http://steellab.com.ua/news/2014/01/01.php [Accessed 2 February 2021].
6. Akselrod L. M. The development of the refractory industry as the response to the consumer needs. *Novye ogneupory = New Refractories*. 2013; 3: 107–122. (In Russ.)
7. Kramer D. *Magnesium compounds, U. S. Geological Survey – minerals information*. Available from: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/magnesium/401496. pdf [Accessed 2 February 2021]
8. Akselrod L. M., Turchin M. Iu., Nazmiev M. I., Manuilova E. V. Magnezit Group multiple hearth furnace for magnesite thermal beneficiation. *Novye ogneupory = New Refractories*. 2016; 3: 20–21. (In Russ.)
9. Klochkovskii S. P., Smirnov A. N., Savchenko I. A. Development of physico-chemical bases of an overall use of high-magnesia siderites. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova = Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2015; 1(49): 26–31. (In Russ.)

10. Turchin M. Iu., Masalimov A. V., Smirnov A. N., Grishin I. A. Obtaining highly active magnesia: modeling and experiment. *Novye ogneupory = New Refractories*. 2019; 5: 92–95. (In Russ.)

11. Abdrakhmanov R. N., Sysoev V. I., Smirnov A. N., Klochkovskii S. P., Gankin D. V., Laptev A. P., Turchin M. Iu. *Method of thermomechanical enrichment of magnesite in indirect heating furnaces*. Patent RF no. 2595120; 2016.

12. Klochkovskii S., Smirnov A., Shabalina U. Thermodynamic and Kinetic Study of Leaching Magnesia from Natural Magnesites by Carbon Dioxide. *Defect and Diffusion Forum*. 2011; 309–310: 261–264.

Received 10 February 2021

**Information about authors:**

**Andrei N. Smirnov** – DSc (Physico-mathematical sciences), Associate Professor, professor of the Department of Metallurgy and Chemical Technology, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: sman@magtu.ru

**Igor A. Grishin** – PhD (Engineering), Head of the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: igorgi@mail.ru

**Aleksei V. Masalimov** – PhD student of the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: a.v.masalimov@yandex.ru

**Для цитирования:** Смирнов А. Н., Гришин И. А., Масалимов А. В. Характеристика отсевов тяжелосредного обогащения магнезита как перспективного техногенного сырья // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 2. С. 88–93. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-88-93

**For citation:** Smirnov A. N., Grishin I. A., Masalimov A. V. Characterizing magnesite heavy-media separation screenings as promising technogenic raw materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 2: 88–93 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-88-93