

УДК 622.7
 DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-3-16-25

СОСТОЯНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДА МАГНИЯ В ПРОЦЕССАХ ОБОГАЩЕНИЯ

THE RAW MATERIAL BASE FOR THE DISCOVERY OF MAGNESIUM OXIDE PRODUCTION PROMISING SOURCES IN THE BENEFICIATION PROCESSES



A. B. Масалимов,
Магнитогорский

государственный технический
университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск
a.v.masalimov@yandex.ru

A. N. Смирнов,
Магнитогорский

государственный технический
университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск
sman@magtu.ru

N. N. Орехова,
Магнитогорский

государственный технический
университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск
n_orehova@mail.ru

I. A. Гришин,
Магнитогорский

государственный технический
университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск
igorgi@mail.ru

A. Masalimov,
Nosov Magnitogorsk State
Technical University,
Magnitogorsk

A. Smirnov,
Nosov Magnitogorsk State
Technical University,
Magnitogorsk

N. Orekhova,
Nosov Magnitogorsk State
Technical University,
Magnitogorsk

I. Grishin,
Nosov Magnitogorsk
State Technical University,
Magnitogorsk

Анализируется состояние сырьевой базы магнезиального сырья России и его связь с существующим дефицитом высокочистого оксида магния. Даётся классификация магнезиального сырья по источнику происхождения. Анализируются разведанные запасы магнезиального сырья и их структура; распределение запасов магнезита по регионам с целью обнаружения новых источников, пригодных для обогащения. Рассмотрена взаимосвязь производства оксида магния с добывчей магнезиального сырья; структура потребления оксида магния; требования, применяемые в разных отраслях промышленности к используемому оксиду магния. Проанализированы существующие методы обогащения природных магнезитов и возможность их применения для техногенного сырья. Рассмотрена возможность применения техногенного сырья как перспективного вида. Выявлено, что для обогащения техногенного сырья необходимо провести разработку соответствующих технологий обогащения

Ключевые слова: магнезит; оксид магния; запасы магнезиального сырья; обогащение магнезита; техногенное сырьё; потребление оксида магния; дефицит сырья; методы обогащения; обогащение техногенного сырья; сырьевая база

The article contains the analyse of the raw material base of magnesia raw materials in Russia and its relationship with the existing deficit of high-purity magnesium oxide. Existing and promising sources of magnesia raw materials and their distribution by regions are considered in order to discover new sources that could be involved in the enrichment processes. The existing methods of enrichment of natural magnesites and the possibility of their application for technogenic raw materials are analyzed

Key words: magnesite; magnesium oxide; reserves of magnesia raw materials; enrichment of magnesite; technogenic raw materials; consumption of magnesium oxide; shortage of raw materials; methods of enrichment; enrichment of technogenic raw materials

Актуальность. Ежегодное потребление оксида магния в России составляет около 660...670 тыс. т¹ [1; 24; 35; 36; 38]. В стране наблюдается дефицит оксида магния, основными потребителями которого по-прежнему остаются металлургия (70...75 %); цементная промышленность (6...7 %); производство керамики (5...6 %), пластмасс и наполнителей резины² [10; 11; 16; 22; 31]. Рост производства дефицитного оксида магния сдерживается в том числе и дефицитом магнезита из-за снижения добычи, отсутствия новых источников сырья и эффективной технологии обогащения магнезиального сырья.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются запасы магнезиального сырья. Предметом исследования – доступные источники магнезиального сырья, которые можно использовать для получения высокочистого оксида магния

Цели и задачи исследования. Цель работы – анализ сырьевой базы и поиск новых источников магнезиального сырья, которое может быть вовлечено в процессы обогащения в ближайшее время и использовано в производстве высокочистого оксида магния. Задачей исследования становится поиск других источников магнезиального сырья (либо ранее не рассмотренных, либо переработка которых считалась нецелесообразной); анализ методов обогащения видов сырья и определение эффективной технологии их обогащения.

Методы исследования. В работе использованы теоретические методы исследований – теоритический анализ и обобщение научной литературы по объёмам разведанных запасов магнезиального сырья и их распределения по регионам. Анализ технологий обогащения минерального магнезиального сырья. Системный анализ требований к получаемой товарной продукции – оксиду магния.

Основные виды магнезиального сырья. Известно более 60 минералов, содержащих магний. Он присутствует в магнезите ($MgCO_3$), брусите $Mg(OH)_2$ и гидратных карбонатах, а также в солях (например, карналлит); является третьим элементом по содержанию в морской воде, что позволяет извлекать из неё магнийсодержащие соединения, получая, в том числе, и оксид магния. По различным оценкам, доля мирового производства магнезиальных порошков из морской воды и рассолов составляет 15 %³ (рис. 1).

Запасы минерального магнезиального сырья. Среди минеральных видов сырья наиболее часто встречаются магнезит, брусит и бишофит. Брусит в основном используется для производства металлургических флюсов, металлического магния. Единственное в России Кульдурское месторождение бруситов расположено в районе посёлка Известковый в Еврейской автономной области, в 170 км от Хабаровска. Балансовые запасы месторождения составляют 4,9 млн т⁴. Бишофит применяется в нефтедобыче для производства и приготовления тампонажных и твердеющих смесей, а также буровых растворов, в химической промышленности, для получения соединений магния повышенной чистоты, как противогололёдный реагент. В некоторых месторождениях калийных солей (Саксония, Германия; Озинки в Саратовской области, Россия и др.) пласти бишофитовых пород могут достигать нескольких метров. Наиболее крупные месторождения бишофита в России (многометровой мощности и широкого площадного распространения) известны близ Волгограда (эксплуатируются методом скважинного выщелачивания). Прогнозные запасы бишофита составляют около 180 млрд т.

Наиболее распространённым и доступным видом минерального сырья для получения магнезиальных продуктов является магнезит [12; 14; 16; 17; 18; 26]. Из него про-

¹ Обзор рынка магнезиального сырья (магнезита и брусита) и магнезитовых порошков в СНГ. – 3-е изд. // INFOMINE Research Group. – М.: ИнфоМайн, 2011. – 137 с.

² Boeing reports record 2014 revenue, core EPS and backlog and provides 2015 guidance Chicago: The Boeing Co., 2014. 14 р. – URL: <http://boeing.mediaroom.com/2015-01-28-Boeing-Reports-Record-2014-Revenue-Core-EPS-andBacklog-and-Provides-2015-Guidance> (дата обращения: 20.09.2016). – Текст: электронный; 2014 Minerals Yearbook. NY: U.S.GS, 2016. – 10 р. – URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/magnesium/myb1-2014-mgmet.pdf> (дата обращения: 20.09.2016). – Текст: электронный; Федеральная таможенная служба Российской Федерации: [официальный сайт]. – URL: <http://www.customs.ru/> (дата обращения: 20.09.2016). – Текст: электронный.

³ Обзор рынка магнезиального сырья (магнезита и брусита) и магнезитовых порошков в СНГ. – 3-е изд. / INFOMINE Research Group. – М. : ИнфоМайн, 2011. – 137 с.

⁴ Там же.

изводят огнеупоры, наполнители для резины, химические реагенты. Для получения оксида магния используется магнезит, обогащённый в процессе тяжелосредней сепарации. Наиболее распространённым типом промыш-

ленного сырья является кристаллический магнезит, на долю которого приходится около 70 % производства; еще 15 % приходится на аморфный (скрытокристаллический) магнезит.

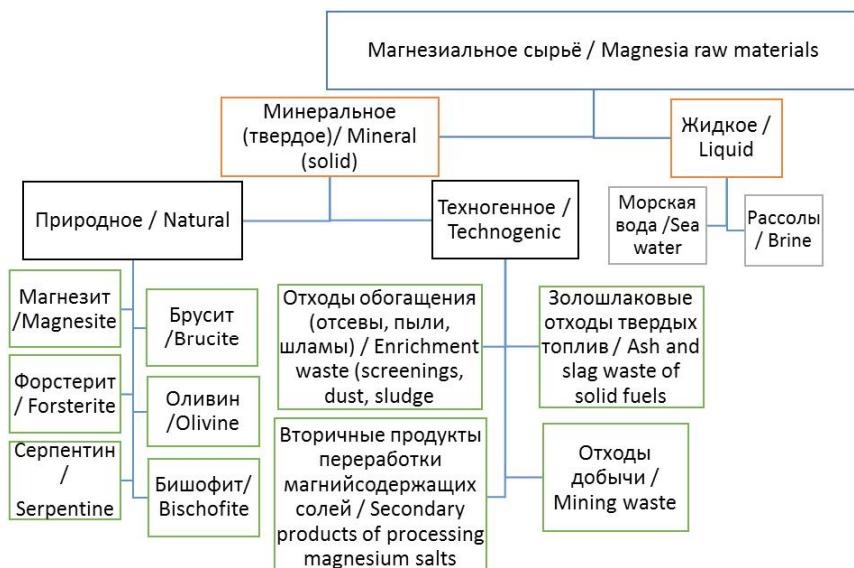


Рис. 1. Основные виды магнезиального сырья / Fig. 1. Main types of magnesia raw materials

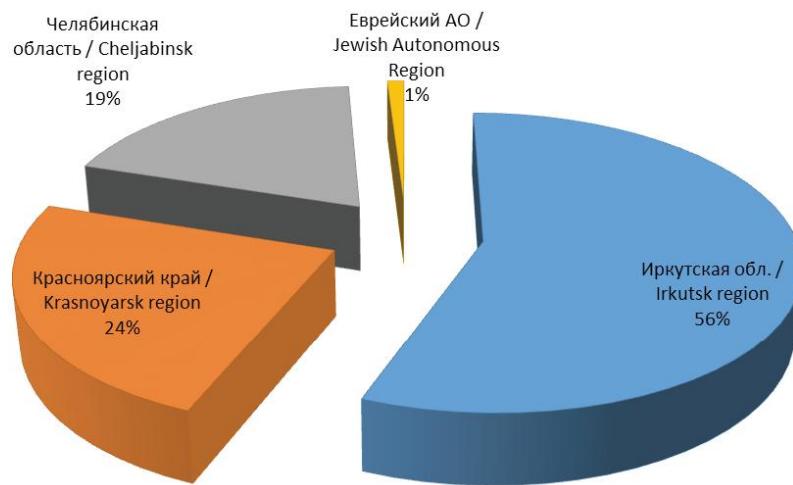
Объёмы добычи и потребления магнезита во много раз превышают аналогичные показатели для брусиата⁵. Таким образом, магнезит в России – доминирующий сырьевой материал для получения магнезиальных порошков.

Россия по распределению запасов магнезита занимает одно из первых мест⁵ [13; 33; 34], уступая только Китаю. По оценке мировых запасов, ресурсы магнезита составляют около 8,5 млрд т, в том числе подтверждённые запасы – 2,7 млрд т (без учёта запасов в России). Ежегодно добывается около 15–19 млн т. В начале 80-х гг. XX в. основная добыча велась в европейских странах, доля которых доходила до 70 %. Оставшиеся 30 % добывались в основном в странах Азии, небольшая доля – в странах Северной и Южной Америки. К концу 1990-х гг. добыча в европейских странах значительно

снизилась, что привело к уменьшению доли до 30 % от мировой. В Азии, наоборот, наблюдался резкий рост добычи магнезитов, в основном, из-за увеличения добычи в Китае. Основная доля добываемого магнезита и производство магнезиальных продуктов приходятся на Китай (43,8 %), ЕС (31,9 %), Корею (18,2 %) [17].

Запасы магнезита в России распределены крайне неравномерно. Большая часть расположена в Сибирском регионе и составляет 80...95 % от разведанных запасов России, которые (по состоянию на 2015 г.) оценивались в 806 млн т по категориям А+В+С₁ и 178 млн т по категории С₂. Кроме того, имеются прогнозируемые ресурсы: по категории Р₁ = 71,4 млн т; по категории Р₂ = 62 млн т и по категории Р₃ = 2441,9 млн т. Основные залежи магнезитов расположены в четырёх регионах (рис. 2).

⁵ Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов, металлургии и химической промышленности. Обзор рынка магнезиального сырья (магнезита и брусиата) и магнезитовых порошков в СНГ. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – М.: ИнфоМайн, 2011. – 127 с



*Рис. 2. Распределение запасов магнезита по регионам /
Fig. 2. Magnesite reserves structure allocated by region*

Из 12 известных месторождений три находятся в разработке, оставшиеся девять отнесены к государственному резерву [23].

Запасы магнезита в России в основном относятся к нераспределённым фондам (около 90 % запасов). Месторождения находятся в труднодоступных районах, значительно удалены от предприятий, занимающихся переработкой и использованием магнезитов. Кроме того, в местах залегания отсутствует развитая инфраструктура. Всё это приводит к необходимости инвестиций в добычу, а также значительным расходам на транспортировку, что и обуславливает низкую рентабельность добычи. Подготовленность магнезита современным требованиям не соответствует ввиду того, что разведка залежей и обработка велась преимущественно в 50–70-е гг. XX в. [17]. За период 1993–2004 гг. российские запасы сырья сократились на 3 млн т [23; 32], и добыча его неуклонно снижается.

Сокращение доступных для добычи запасов магнезита также негативно сказыва-

ется на ситуации с добычей магнезиального сырья. Это приводит к необходимости переходить на подземный способ, к росту себестоимости добываемого магнезита, значительному увеличению потерь при добыче⁶ [18; 21].

Добыча магнезита в России в 2004 г. составила 2667 тыс т, из которых добыто 98 % в Челябинской области и 1,3 % в Красноярском крае [18; 23]. При этом в 2012 г., по данным Федеральной таможенной службы, в Россию импортировано 60 тыс. т магнезита, в 2019 – 95 тыс. т⁷, что говорит о гораздо большем его потреблении и существенно меньшей добыче⁸. Доля импорта от общего объёма потребления магнезита достигает 30 %⁹.

Таким образом, несмотря на значительные разведанные запасы магнезита, в ближайшее время нарастить объёмы его добычи не представляется возможным ввиду труднодоступности запасов. Следовательно, рассматривать магнезит как перспективное природное минеральное сырьё не целесоо-

⁶Geological Survey: [официальный сайт U.S.]. – URL: <http://minerals.usgs.gov/> (дата обращения: 20.09.2016). – Текст: электронный.

⁷Годовой отчет ПАО «Корпорация ВСМПО100,000». – Текст: электронный // Tons/Year Aluminium Magnesium Alloy Project of Liaoyuan City. – URL: http://www.jl.gov.cn/bsfw/wgr_new/swtz/zdxdm2015/yj2015/201511/t20151105_2097971.html (дата обращения: 20.09.2016).

⁸Годовой отчет ОАО «СМЗ» за 2014 год. – URL: http://xn--g1ajo.xnp1ai/raport/-2015/2014_annual_report_SMW.pdf (дата обращения: 20.09.2016). – Текст: электронный.

⁹Отчет «АВИСМА» за 2014 год. – URL: http://www.vsmopo.ru/doc_e/otchet/2014/god-otchet-2014.pdf (дата обращения: 20.09.2016). – Текст: электронный; ООО «Волгоградский магниевый завод»: [официальный сайт]. – URL: <http://vmz-vlg.ru/> (дата обращения: 20.09.2016). – Текст: электронный.

бразно, необходимо исследовать иные, техногенные, источники сырья.

Анализ применения технологий обогащения для получения высокочистого оксида магния из твёрдого техногенного магнезиального сырья. Выбор источников сырья обусловливается потребителем про-

дукции обогащения и предъявляемыми им требованиями. Основными потребителями высокочистого оксида магния являются производство огнеупорных материалов, резинотехнических изделий, трансформаторных сталей (рис. 3).

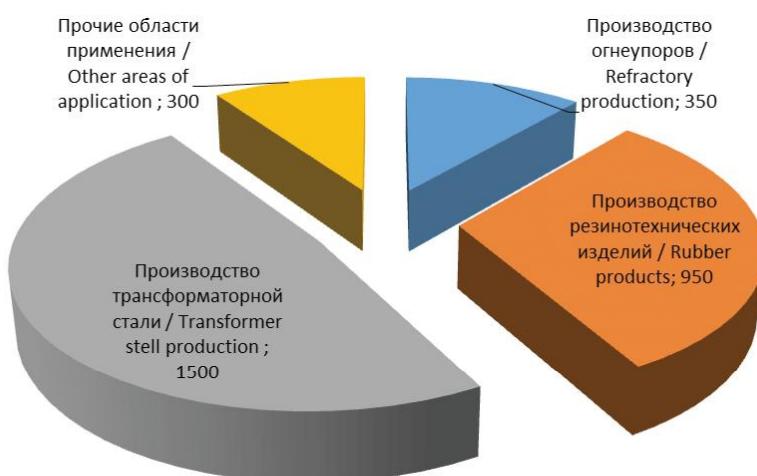


Рис 3. Распределение потребителей высокочистой магнезии по отраслям, тыс. т/г. /
Fig 3. Consumption of magnesium oxide, thousand tons per year

Все эти производства предъявляют свои, достаточно высокие требования к применяемому оксиду магния. Для производства трансформаторной стали (основные производители в России: ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (далее – ОАО «НЛМК») и ООО «ВИЗ-СТАЛЬ», г. Екатеринбург – вынуждены импортировать его [29]) и резинотехнических изделий помимо

высокой степени чистоты (содержание MgO не менее 99 %) предъявляется ещё ряд требований, таких как наличие примесей ионов хлора, железа, определённой насыпной плотности (0,1...0,2 г/см³), степени развитости удельной поверхности (йодное и лимонное числа), остаточное содержание углекислоты (табл. 1, 2).

Таблица 1 / Table 1

Требования, предъявляемые к оксиду магния различными отраслями /
Requirements for magnesium oxide by various industries

Область применения / Application area	Содержание MgO, масса, % / MgO content, % per mass	Насыпная масса, г/см ³ / Bulk weight, g/cm ³	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г / Surface area by BET method, m ² /g	Йодное число / Iodine value
Адгезив и наполнитель пластмасс / Adhesive and filler for plastics	Не менее 95 At least 95	0,35...0,40	185	Не менее 100 / At least 100
Термостойкое покрытие суспензии MgO / Heat Resistant Coating of MgO Suspension	Не менее 98 At least 98	0,1...0,2	-	Не менее 120 / At least 120
Защитное покрытие титановых заготовок / Protective coating for titanium blanks	Не менее 98 At least 98	0,35...0,40	Не более 5 No more than 5	Не нормируется / Not standar-dized

Таблица 2 / Table 2

Основные методы обогащения природных магнезитов / Basic enrichment methods for natural magnesites

Метод обогащения / Enrichment method	Обогащаемая фракция / Fraction to be enriched	Эффективность обогащения / Enrichment efficiency	Источники / References	
Пневмоэлектросепарация / Pneumatic electrical separation	+0,0...0,3 мм / mm	$\varepsilon(\text{MgO})<50\%$ $\beta(\text{MgO})<45\%$	[1; 25; 28–30]	
Рентгенотрансмиссионная сухая сепарация / X-ray transmission dry separation	+20 мм / mm	$\varepsilon(\text{MgO})=50\%$ $\beta(\text{MgO})<45\%$	[6]	
Обогащение в тяжёлых суспензиях / Enrichment in heavy suspensions	-120,0...+60,0 и -60,0...+8,0 мм / mm	$\varepsilon(\text{MgO})=85...95\%$ $\beta(\text{MgO})=45...47\%$	[4; 5]	
Флотация / Froth flotation	-0,074...+0,000 мм / mm	$\varepsilon(\text{MgO})=75...80\%$ $\beta(\text{MgO})=45...47\%$	[4; 6; 8; 9; 29]	
Химические методы обогащения / Chemical enrichment methods	Солянокислый метод / Hydrochloric acid method	-0,25...+0,00мм / mm	$\varepsilon(\text{MgO})=40...42\%$ $\beta(\text{MgO})<98\%$	[5; 20]
	Бикарбонатный метод / Bicarbonate method	-0,25...+0,00 мм / mm	$\varepsilon(\text{MgO})<40\%$ $\beta(\text{MgO})\leq99\%$	[5; 20]
	Аммонийный метод / Ammonia method	-0,1...+0,0 мм / mm	$\varepsilon(\text{MgO})<45\%$ $\beta(\text{MgO})<90\%$	[4–6; 20]

Основное отличие техногенного сырья: содержание MgO в нём ниже, чем в природных магнезитах; кроме того, имеющийся MgO может быть химически связан с другими компонентами, что не позволяет вовлекать эти материалы в известные технологические процессы.

Одним из возможных техногенных материалов, которые могут быть использованы для обогащения и получения высокочистого MgO, – отсеи тяжелосреднего обогащения магнезита Саткинского месторождения, фракции 8,0...+0,0 мм, их запасы оцениваются в более чем 250 тыс. т. Материал содержит 42...46 % оксида магния до прокаливания и 85...90 % после прокаливания. Среди примесей наблюдаются карбонаты кальция и железа, а также оксиды кремния и алюминия. Установлено присутствие в значительном количестве нежелательных примесей и относительно низкое содержание оксида магния до 90 % в полностью прокалённом состоянии¹⁰ [35]. Отличительной особенностью данного вида материала является изоморфная структура, представляющая собой сложную систему, в основе которой лежит 75...80 % MgCO_3 и ряд непре-

рывных твёрдых растворов $\text{MgCO}_3\text{-CaCO}_3\text{-FeCO}_3$, составляющих 20...25 % примеси к основному минералу [15; 35]. Такой состав ограничивает область методов, которыми можно производить обогащение химическими способами. Применение известных технологических решений для техногенных видов сырья не позволяет получать продукт, соответствующий требованиям.

Заключение. Таким образом, существующие производственные мощности переработки природного магнезиального сырья не обеспечивают потребность предприятий в высокочистом оксиде магния. Причинами этого являются сокращение добычи традиционно используемого сырья – магнезитов и дефицит другого магнезиального сырья, которое может быть направлено в процессы обогащения для получения необходимой продукции.

Перспективным видом сырья для производства оксида магния являются техногенные виды сырья. Однако их наличие не решает проблему дефицита, так как для этих видов сырья не разработаны технологические решения, которые позволяют получать продукцию требуемого качества.

¹⁰ Масалимов А. В. Анализ возможности обогащения отсевов магнезита для получения высокочистого оксида магния // Актуальные проблемы горного дела. – 2019. – № 1. – С. 49–52.

Список литературы

1. Аксельрод Л. М. Развитие огнеупорной отрасли — отклик на запросы потребителей // Новые огнеупоры. 2013. № 3. С. 107–122.
2. Аксельрод Л. М., Турчин М. И., Назмиев М. Ю. Обогащение магнезита Саткинского месторождения рентгенотрансмиссионным методом // Новые огнеупоры. 2016. № 3. С. 21–22.
3. Бетехтин А. Г. Минералогия. М.: КДУ, 2007. 720 с.
4. Гавриш Д. И., Стрелов К. К., Закутинский В. Л. Химические методы обогащения магнезита // Огнеупоры. 1977. № 2. С. 17–23.
5. Заболотная Н. В. Получение основного карбоната магния из побочного продукта производства борной кислоты // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. Май. № 5. С. 32–34.
6. Кайнарский И. С., Дегтярева Э. В. Основные огнеупоры. М.: Металлургия, 1974. 367 с.
7. Кащеев И. Д., Урванцев А. И. Обогащение магнезита // Новые огнеупоры. 2006. № 4. С. 11.
8. Кащеев И. Д. Производство огнеупоров. М.: Металлургия, 1993. 256 с.
9. Кащеев И. Д., Стрелов К. К., Мамыкин П. С. Химическая технология огнеупоров. М.: Интермет Инжиниринг, 2007. 752 с.
10. Козлова В. К., Душевина А. М. Комплексное использование доломитов Таензинского месторождения // Строительные материалы. 2004. № 1. С. 29–30.
11. Количественная и геолого-экономическая оценка ресурсов неметаллических полезных ископаемых. Т. III. Нерудное металлургическое сырье. Казань: Новое знание, 2007. 94 с.
12. Леб Л. Статическая электризация. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 408 с.
13. Мирюк О. А. Влияние состава компонентов на твердение смешанных магнезиальных вяжущих // Научные основы энерго- и ресурсосберегающих технологий. Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2005. № 14. 35–39.
14. Олофинский Н. Ф. Электрические методы обогащения. М.: Недра, 1977. 517 с.
15. Определение рациональных параметров бикарбонатного способа получения магнезии / подг. А. Н. Смирнов, А. В. Масалимов, В. И. Сысоев, И. И. Зайнуллин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тез. 77-й Междунар. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Магнитогор. гос. техн. ун-т им. Г. И. Носова, 2019. С. 228–229.
16. Осадченко И. М., Лябин М. П., Романовская А. Д. Оксид магния: свойства, методы получения и применения (аналитический обзор) // Вестник ВолГУ. Серия 11. Естественные науки. 2018. № 3. С. 6–9.
17. Пальгова А. Ю. Обзор мировых запасов магнезиального сырья. Текст: электронный // Молодой ученый. 2015. № 3. С. 193–196. URL: <https://moluch.ru/archive/83/15216/> (дата обращения: 29.09.2020).
18. Перепелицын В. А., Рытвин В. М., Коротеев В. А. Техногенное минеральное сырье Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 332 с.
19. Перепелицын В. А., Юксеева И. В., Остряков Л. В. Техногенное сырье Урала для производства огнеупоров // Огнеупоры и техническая керамика. 2009. № 6. С. 50–54.
20. Позин М. Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот). 3-е изд. Л.: Химия, 1970. Ч.1. 792 с.
21. Полоус М. Новый «Русский магний». Текст: электронный // Коммерсант. 2015. 04 февраля. URL: <http://www.kommersant.ru/doc/2660134> (дата обращения: 20.09.2020).
22. Прокофьева В. В. Магнезиальные силикаты в производстве строительной керамики. СПб.: Золотой орел, 2005. 157 с.
23. Склярова Г. Ф. Перспективы комплексного использования магнезитового сырья месторождений Дальнего Востока // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 1. 403 с.
24. Смирнов А. Н. Основные тенденции развития рынка огнеупорных материалов. 2014 г. URL: <http://steellab.com.ua/news/2014/01/01.php>. (дата обращения: 20.09.2020). Текст: электронный.
25. Тюренков Н. Г. Единый метод оценки эффективности обогатительных процессов. М.: Металлургиздат, 1952. 36 с.
26. Урванцев А. И. Вероятностные процессы в пневмоэлектрической сепарации // Совершенствование процессов электрической сепарации и конструкции электросепараторов: междувед. сборник. Л.: Механобр, 1987. С. 46–54.
27. Урванцев А. И. Об особенностях трибоэлектрической зарядки частиц в пневмоэлектрических сепараторах // Совершенствование процессов электросепарации и конструкций электросепараторов: междувед. Л.: Механобр, 1987. С. 36–46.
28. Урванцев, А. И., Кащеев И. Д. Обогащение магнезита сухим способом // Новые огнеупоры. 2012. № 4. С. 12–15.
29. Физические основы электрической сепарации / сост. А. И. Ангелов, под ред. В. И. Ревнивцева. М.: Недра, 1983. 271 с.

30. Хорошавин Л. Б., Перепелицын В. А., Кононов В. А. Магнезиальные огнеупоры. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 576 с.
31. Шапорев В. П., О. Э. Сердюков, Макки А. Ф. О некоторых нерешенных проблемах в области производства и применения активных оксида и гидроксида магния // Технологии органических и неорганических веществ и экология. 2008. Т. 6, № 4. С.31–38.
32. Шевелев А. И., Тимесков В. А., Тохтасьев В. С., Коплус А. В., Сабитов А. А. Нерудное металлургическое сырье России // Разведка и охрана недр. 2005. № 9. С. 15–19.
33. Щербакова Т. А., Шевелев А. И. Сыревая база магнезита России и перспективы её развития // Георесурсы. 2016. Т. 18, №1. С. 75–78.
34. Щипцов В. В. Магнезиальное сырье: история, мировой потенциал и ресурсы Карелии // Горный журнал. 2010. № 6. С. 21–29.
35. Highly reactive magnesia production: modeling and experiment / M. Y. Turchin, A. V. Masalimov, A. N. Smirnov, I.A. Grishin // Refractories and Industrial Ceramics. 2019. T. 60, № 3. C. 254–257.
36. Kramer, D. A. Minerals // Year Book 2002. Magnesium Compounds. USGS, Reston. Virginia, 2002.
37. Pan F. S. et al. Key R&D activities for development of new types of wrought magnesium alloys in China // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2010. T. 20, №. 7. P. 1249–1258.
38. Shand M. A. The chemistry and technology of magnesia. John Wiley&Sons, Inc. 2006. 191 p.

References

1. Akselrod L. M. *Novye ogneupory* (New refractories), 2013, no. 3. pp. 107–122.
2. Akselrod L. M. *Novye ogneupory* (New refractories), 2013, no. 3. pp. 21–22.
3. Betekhtin A. G. *Mineralogiya* (Mineralogy). Moscow: KDU, 2007. 720 p.
4. Gavrish D. I., Strelkov K. K., Zakutinsky V. L. *Ogneupory* (Refractories), 1977, no. 2, pp. 17–23.
5. Zabolotnaya N. V. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Orenburg State University), 2006, May, no. 5, pp. 32–34.
6. Kaynarsky I. S., Degtyareva E. V. *Osnovnye ogneupory* (Basic refractories). Moscow: Metallurgiya, 1974, 367 p.
7. Kashcheev I. D., Urvancev A. I. *Novye ogneupory* (New refractories), 2006, no. 4, p. 11.
8. Kashcheev I. D. *Proizvodstvo ogneuporov* (Production of refractories). Moscow: Metallurgiya, 1993, 256 p.
9. Kashcheev I. D., Strelkov K. K., Mamykin P. S. *Himicheskaya tekhnologiya ogneuporov* (Chemical technology of refractories). Moscow: Intermet Engineering, 2007, 752 p.
10. Kozlova V. K., Dushevina A. M. *Stroitelnye materialy* (Construction materials), 2004, no. 1, pp. 29–30.
11. *Kolichestvennaya i geologo-ekonomicheskaya otsenka resursov nemetallicheskikh poleznykh iskopayemykh. T. III. Nerudnoe metallurgicheskoe syrie* (Quantitative and geological-economic assessment of non-metallic mineral resources. Vol. III. Nonmetallic metallurgical raw materials). Kazan: Novoe znanie, 2007. 94 p.
12. Leb, L. *Staticheskaya elektrizaciya* (Static electrification). M.; L.: Gosenergoizdat, 1963, 408 p.
13. Miryuk O. A. *Nauchnye osnovy energo- i resursosberegayuschih tehnologiy. Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova* (Scientific bases of energy - and resource-saving technologies. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov), 2005, no.14, 35–39.
14. Olofinsky N. F. *Elektricheskie metody obogashcheniya* (Electrical methods of enrichment). Moscow: Nedra, 1977, 517 p.
15. *Aktualnye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya: tez. 77-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* (Actual problems of modern science, technology and education: tez. 77th International Scientific and Technical Conference conf.). Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University. G. I. Nosov Univ., 2019, pp. 228–229.
16. Osadchenko I. M., Lyabin M. P., Romanovskova A. D. *Vestnik VolGU. Seriya 11. Estestvennye nauki* (Bulletin of the Volga State University. Series 11. Natural sciences), 2018, no. 3, pp. 6–9.
17. Palgova A. Yu. *Molodoy ucheny* (A young scientist), 2015, no. 3, pp. 193–196. Available at: <https://moluch.ru/archive/83/15216/> (date access: 29.09.2020). Text: electronic.
18. Perepelitsyn V. A., Rytvin V. M., Koroteev V. A. *Tekhnogennoe mineralnoe syrie Ura* (Technogenic mineral raw materials of the Urals). Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2013, 332 p.
19. Perepelitsyn V. A., Yukseeva I. V., Ostryakov L. V. *Ogneupory i tehnicheskaya keramika* (Refractories and technical ceramics), 2009, no. 6, pp. 50–54.
20. Pozin M. E. *Tehnologiya mineralnyh solej (udobreniy, pestitsidov, promyshlennyyh solej, okislov i kislot)* (Technology of mineral salts (fertilizers, pesticides, industrial salts, oxides and acids). 3rd ed. L.: Chemistry, 1970, part. 1, 792 p.

21. Polous M. *Kommersant* (Merchant), 2015. February 04. Available at: <http://www.kommersant.ru/doc/2660134> (date access: 20.09.2020). Text: electronic.
22. Prokofieva V. V. *Magnezialnye silikaty v proizvodstve stroitelnoy keramiki* (Magnesian silicates in the production of building ceramics). St. Petersburg: Zolotoy Orel, 2005, 157 p.
23. Sklyarova G. F. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information and analytical bulletin), 2012, no. 1, 403 p.
24. Smirnov A. N. *Osnovnye tendentsii razvitiya rynka ogneupornyh materialov* (The main trends in the development of the market of refractory materials). 2014. Available at: <http://steellab.com.ua/news/2014/01/01.php>. (date of access: 20.09.2020). Text: electronic.
25. Tyurenkov N. G. *Ediny metod otsenki effektivnosti obogatitelnyh processov* (Unified method for evaluating the efficiency of processing processes). Moscow: Metallurgizdat, 1952, 36 p.
26. Urvantsev A. I. *Sovershenstvovanie protsessov elektricheskoy separatsii i konstruktsii elektroseparatorov: mezhduved. sbornik* (Improving the electrical separation processes and design of electric separators: mezhduved. collection of works). L.: Mekhanobr, 1987, pp. 46–54.
27. Urvantsev A. I. *Sovershenstvovanie protsessov elektroseparatsii i konstruktsiy elektroseparatorov: mezhduved. sbornik* (Improvement of electric separation processes and electric separator designs: inter-ved. collection of works). L.: Mekhanobr, 1987, pp. 36–46.
28. Urvantsev, A. I., Kashcheev I. D. *Novye ogneupory* (New refractories), 2012, no. 4, pp. 12–15.
29. *Fizicheskie osnovy elektricheskoy separatsii / sost. A. I. Angelov, pod red. V. I. Revnivtseva* (Physical bases of electric separation). Moscow: Nedra, 1983, 271 p.
30. Khoroshavin L.B., Perepelitsyn V. A., Kononov V. A. *Magnezialnye ogneupory* (Magnesian refractories). Moscow: Intermet Engineering, 2001, 576 p.
31. Shaporev V. P., O. E. Serdyukov, Makki A. F. *Tehnologii organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv i ekologiya* (Technologies of organic and inorganic substances and ecology), 2008, vol. 6, no. 4, pp. 31–38.
32. Shevelev A. I., Timeskov V. A., Tokhtasev V. S., Koplus A. V., Sabitov A.A. *Razvedka i ohrana nedr* (Exploration and protection of mineral resources), 2005, no. 9, pp. 15–19.
33. Scherbakova T.A., Shevelev A.I. *Georesursy* (Georesources), 2016, vol. 18, no. 1, pp. 75–78.
34. Schiptsov V. V. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 2010, no. 6, pp. 21–29.
35. Turchin M.Y., Masalimov A.V., Smirnov A.N., Grishin I.A. *Refractories and Industrial Ceramics* (Refractories and Industrial Ceramics), 2019, vol. 60, no. 3, pp. 254–257.
36. Kramer, D. A. *Year Book 2002. Magnesium Compounds. USGS Year Book 2002. Magnesium Compounds. USGS*. Reston. Virginia, 2002.
37. Pan F. S. et al. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* (Transactions of Nonferrous Metals Society of China), 2010, vol. 20, no. 7, pp. 1249–1258.
38. Shand M. A. *The chemistry and technology of magnesia* (The chemistry and technology of magnesia). John Wiley&Sons, Inc., 2006, 191 p.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Челябинской области в рамках научного проекта № 20-48-740038 (The research was funded by RFBR and Chelyabinsk Region, project number 20-48-740038)

Коротко об авторах

Масалимов Алексей Валерьевич, аспирант, кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия. Сфера научных интересов: переработка и обогащение техногенных отходов
a.v.masalimov@yandex.ru

Смирнов Андрей Николаевич, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры металлургии и химической технологии, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия. Сфера научных интересов: физико-химические свойства поликристаллических материалов, подготовка сырьевых материалов к металлургическим процессам
sman@magtu.ru

Орехова Наталья Николаевна, д-р техн. наук, профессор кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия. Сфера научных интересов: изучение закономерностей обогащения природного и техногенного минерального сырья, извлечение металлов из техногенных вод
n_orehova@mail.ru

Гришин Игорь Анатольевич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия. Сфера научных интересов: изучение процессов массопереноса при магнитном обезжелезнении нерудного сырья
igorgi@mail.ru

Briefly about the authors

Aleksey Masalimov, postgraduate, Geology, Mine Surveying and Mineral Processing department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Scientific interests: processing and enrichment of technogenic waste.

Andrey Smirnov, doctor of physical and mathematical sciences, associate professor, professor, Metallurgy and Chemical Technology department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Scientific interests: Physical and chemical properties of polycrystalline materials, preparation of raw materials for metallurgical processes

Natalya Orekhova, doctor of technical sciences, associate professor, professor, Geology, Mine Surveying and Mineral Processing department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Scientific interests: Study of the laws governing the enrichment of natural and man-made mineral raw materials, the extraction of metals from man-made waters

Igor Grishin, candidate of technical sciences, head of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Scientific interests: studying the processes of mass transfer during magnetic deferrization of nonmetallic raw materials

Образец цитирования

Масалимов А. В., Смирнов А. Н., Орехова Н. Н., Гришин И. А. Состояние сырьевой базы для обнаружения перспективных источников получения оксида магния в процессах обогащения// Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 3. С. 16–25. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-3-16-25.

Masalimov A., Orekhova N., Smirnov A., Grishin I. The raw material base for the discovery of magnesium oxide production promising sources in the beneficiation processes // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 3, pp. 16–25. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-3-16-25.

Статья поступила в редакцию: 01.04.2021 г.

Статья принята к публикации: 06.04.2021 г.