



УДК 669.187.2

DOI 10.17073/0368-0797-2023-6-653-658

Оригинальная статья  
Original article

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ МЕТАЛЛИЗОВАННОГО СИДЕРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

А. С. Вусихис<sup>1</sup>, Л. И. Леонтьев<sup>1,2,3</sup>, Ю. А. Чесноков<sup>4</sup><sup>1</sup> Институт металлургии Уральского отделения РАН (Россия, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 101)<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., 4)<sup>3</sup> Президиум РАН (Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., 32а)<sup>4</sup> ООО «НПВП ТОРЭКС» (Россия, 620041, Екатеринбург, ул. Основинская, 8)

✉ vas58@mail.ru

**Аннотация.** Бакальские сидериты относятся к бедным, труднообогатимым карбонатным железным рудам. Низкое содержание фосфора и цветных металлов делает сидериты ценным сырьем для получения высокометаллизированного концентрата, пригодного для использования в сталеплавильных процессах. Восстановление сидеритов во вращающейся печи при 1300 – 1350 °С с последующим отделением пустой породы методом магнитной сепарации позволяет получить в качестве сырья концентрат со степенью металлизации более 90 % и содержанием пустой породы около 5 %, пригодный для выплавки стали. Цель данной работы – оценить эффективность процесса получения металла из сидеритовой руды, включающего получение высокометаллизированного сидеритового концентрата в восстановительной печи, а также его горячую загрузку в руднотермическую печь и сам процесс плавки. Для этого произведен расчет электроплавки в электрической руднотермической печи, позволяющий определить большое количество параметров, в том числе расход электроэнергии, необходимый для плавки. В качестве исходных материалов использовали кусковой металлизированный сидеритовый концентрат ( $\varphi_{\text{мет}} = 92,3\%$ ), содержащий 35 % пустой породы. Для сравнения взят брикетированный металлизированный сидеритовый концентрат, полученный из кускового концентрата, в котором значительное количество пустой породы удалено методом мокрой магнитной сепарации. Анализ результатов показывает, что повышение температуры кускового концентрата от 25 до 1000 °С снижает удельные энергозатраты и одновременно увеличивает производительность печи до значений, сравнимых с параметрами плавки брикетированного концентрата. Это подтверждает эффективность предлагаемого процесса. Для снижения температуры плавления высокомагнезильных шлаков в качестве флюса предложено использовать колеманит.

**Ключевые слова:** железорудное сырье, бакальские сидериты, обогащение руды, металлизация, концентрат, электроплавка, колеманит

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-29-00400.

**Для цитирования:** Вусихис А.С., Леонтьев Л.И., Чесноков Ю.А. Оценка эффективности электроплавки металлизированного сидеритового концентрата. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2023;66(6):653–658. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-6-653-658>

## EVALUATING THE EFFICIENCY OF METALLIZED SIDERITE CONCENTRATE ELECTRIC MELTING

A. S. Vusikhis<sup>1</sup>, L. I. Leont'ev<sup>1,2,3</sup>, Yu. A. Chesnokov<sup>4</sup><sup>1</sup> Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Science (101 Amundsen Str., Yekaterinburg 620016, Russian Federation)<sup>2</sup> National University of Science and Technology “MISIS” (4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation)<sup>3</sup> Scientific Council on Metallurgy and Metal Science of Russian Academy of Sciences (Department of Chemistry and Material Sciences) (32a Leninskii Ave., Moscow 119991, Russian Federation)<sup>4</sup> LLC “NPVP TOREKS” (8 Osnovinskaya Str., Yekaterinburg 620041 Russian Federation)

✉ vas58@mail.ru

**Abstract.** The Bakal siderites belong to low-grade refractory carbonate iron ores. The low content of phosphorus and non-ferrous metals makes siderites a valuable raw material for obtaining highly metallized concentrate suitable for use in steelmaking processes. Reduction of siderites in a rotary furnace at 1300 – 1350 °C followed by magnetic separation of waste rock allows to obtain a concentrate with metallization degree over 90 % and a content of waste rock of about 5 % suitable for steelmaking as raw materials. The purpose of this work is to evaluate the efficiency of the process aimed at obtaining metal from siderite ore including obtaining of highly metallized siderite concentrate in a recovery furnace, as well as its hot loading

into ore-thermal furnace and melting process itself. To do this, the electric melting was calculated in the electric ore melting furnace providing for determination of a large number of parameters including the electricity consumption required for melting. As raw materials we used a highly metallized siderite concentrate ( $\varphi_{\text{мет}} = 92.3\%$ ) containing 35 % of waste rock and, for comparison, a briquetted metallized siderite concentrate obtained from a lump concentrate in which a significant amount of waste rock was removed by wet magnetic separation. The results analysis shows that increase in concentrate temperatures from 25 to 1000 °C decreases specific energy consumption and at the same time increases the furnace productivity to values comparable to the parameters of melting briquetted concentrate. This confirms the efficiency of the developed process. To reduce the melting point of high-magnesium slag, it is proposed to use colemanite as flux.

**Keywords:** iron ore raw materials, Bakal siderites, ore beneficiation, metallization, concentrate, electric melting, colemanite

**Acknowledgements:** The work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 22-29-00400.

**For citation:** Vusikhis A.S., Leont'ev L.I., Chesnokov Yu.A. Evaluating the efficiency of metallized siderite concentrate electric melting. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(6):653–658. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-6-653-658>

## ВВЕДЕНИЕ

Сидериты Бакальской группы месторождений, находящиеся на территории Челябинской области, относятся к бедным, труднообогатимым карбонатным железным рудам. Основными рудными минералами бакальских сидеритовых руд являются сидероплезит и пистомезит, представляющие собой твердый раствор карбонатов железа, магния и марганца. Породная часть представлена сланцами кварцево-глинистого состава, доломитами, доломитизированными известняками, диабазами и кварцитами [1–4].

Низкое содержание фосфора, отсутствие цветных металлов (меди и цинка) и наличие марганца делают сидериты ценным сырьем для получения высокометаллизированного концентрата, пригодного для использования в сталеплавильных процессах [5; 6]. Для его получения разработан ряд технологических решений.

В мировой промышленной практике широко применяют способы пирометаллургического обогащения бедных железных руд, включающие их металлизацию твердым восстановителем во вращающихся печах с последующим отделением пустой породы путем измельчения и магнитной сепарации [7–11]. Тугоплавкая пустая порода сидеритов позволяет вести этот процесс при температурах 1300–1350 °C, что значительно укрупняет зерна железа и повышает эффективность его извлечения в концентрат при магнитной сепарации. При этом получается продукт со степенью металлизации более 90 %, содержащий около 5 % пустой породы, которая состоит в основном из оксида магния [12; 13]. Предварительно необходимо удаление легкоплавких сланцев, что позволяет сделать обогащение в тяжелых суспензиях [14]. При проведении разделения более легкая фракция пустой породы всплывает на поверхность суспензии и удаляется.

Металлургические предприятия Уральского региона испытывают острый дефицит железорудного сырья, который покрывается за счет ввоза его из других регионов страны [15–17]. Поэтому обеспечение сталеплавильного производства качественной металлошихтой является важной целью. В связи с этим актуальной задачей представляется оценка возможности использования металлизированного концентрата, полученного из

бакальских сидеритов путем прямого восстановления, в качестве сырья электросталеплавильных печей.

В подавляющем большинстве технологий для бескоксовой металлургии конечный продукт, предназначенный для электросталеплавильного производства, содержит 90–93 % железа при степени металлизации 92–95 % и 3–5 % пустой породы [18; 19]. При увеличении доли пустой породы снижается выход годного и производительность печей, увеличивается расход электроэнергии. В то же время известно, что повышение температуры загружаемого сырья приводит к существенному уменьшению расходов электроэнергии в дуговой печи, электродов, огнеупорных материалов и увеличению производительности печи [19].

Целью настоящей работы является оценка эффективности использования металлизированного сидеритового концентрата в руднотермической печи.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика расчета и созданный на ее основе программный модуль определения технико-экономических показателей плавки в руднотермической печи состоит из блока ввода исходных данных, в том числе:

- химического состава шихтовых материалов;
- флюсующих и топливных добавок;
- заданных параметров работы печи.

Расчет электроплавки в руднотермической печи предусматривает:

- определение выхода металла и шлака;
- химический состав конечного шлака по заданной основности или содержанию монооксида железа;
- конечную температуру металла;
- расчетное содержание серы в металле;
- состав отходящего газа;
- расчет материального и теплового балансов процесса;
- расчет калькуляции себестоимости процесса.

Разработанный программный модуль в интерактивном режиме позволяет пользователю:

- вводить, редактировать информацию и исходные данные для расчетов с возможностью выборки и сортировки в соответствии с отображаемыми полями редактирования;

Химический состав металлизированных сидеритов, % (по массе)

Table 1. Chemical composition of metallized siderites, wt. %

Наименование	C	Fe <sub>мет</sub>	S	P	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	MnO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	φ <sub>мет</sub>
Металлизированный концентрат (кусок)	0,90	57,07	0,14	0,03	3,49	12,89	14,34	3,28	6,12	1,77	92,3
Металлизированный концентрат (брикет)	0,21	83,58	0,12	0,04	0,44	0,92	3,01	0,38	11,06	0,24	90,7

– проводить такие операции, как быстрый ввод новых исходных данных на основе копирования и редактирования существующих записей;

– архивировать и печатать исходные данные и результаты расчетов, а также осуществлять авторизованный доступ в программный модуль.

Для определения химического состава исходных материалов, использованных в расчетах, предварительно проведено экспериментальное моделирование процесса металлизации сидерита во вращающейся печи. Для этого графитовый тигель с кусками сырого сидерита крупностью 10 – 40 мм вместе с засыпкой из коксика крупностью 0 – 5 мм помещали в печь Таммана, нагревали до температуры 1300 °С, выдерживали при заданных условиях в течение 2 ч и охлаждали с печью. В результате получен металлизированный концентрат (кусок). Далее часть кусков металлизированного концентрата подвергалась измельчению и мокрой магнитной сепарации для получения продукта (металлизированный концентрат (брикет)), пригодного в виде брикетов к плавке в электропечи. Их составы представлены в табл. 1.

При расчетах в интервале 25 – 1000 °С варьировалась температура, при которой концентрат (металлизированный концентрат (кусок)) загружался в печь после восстановительного обжига. Загрузка концентрата (металлизированный концентрат (брикет)) осуществлялась при 25 °С.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Варианты расчетов показателей плавки в руднотермической печи с использованием в качестве исходного сырья кускового металлизированного сидеритового концентрата, загружаемого в печь при температурах в диапазоне 25 – 1000 °С, при прочих равных условиях, приведены в табл. 2.

Графическая интерпретация влияния температуры кускового металлизированного сидеритового концентрата, загружаемого в печь, на производительность и удельный расход электроэнергии на плавку приведена на рисунке.

Анализ полученных результатов показывает, что использование высоко нагретого кускового металлизированного сидеритового концентрата является одним из важных технологических мероприятий для повышения

Показатели плавки в руднотермической печи

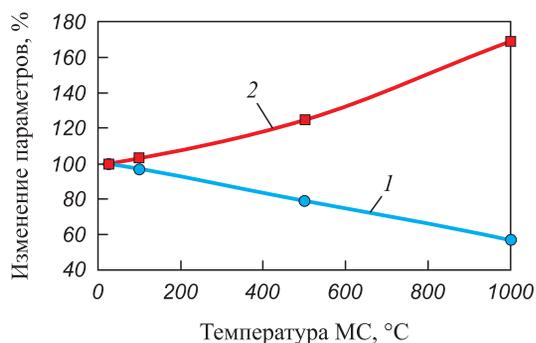
Table 2. Indicators of melting in ore-thermal furnace

Показатель	25 °С	100 °С	500 °С	1000 °С
Мощность печи, МВА	16,5			
Расход железорудных компонентов, кг/т металла	1681,8	1681,8	1681,8	1681,8
Металлизированный концентрат (кусок), кг/т металла	1681,8	1681,8	1681,8	1681,8
Выход пыли, кг/т металла	46,8	46,8	46,8	46,8
Потери металла, кг/т металла	10,0	10,0	10,0	10,0
Расход электродов, кг/т металла	20,2	20,2	20,2	20,2
Состав металла, %				
Si	0,40	0,40	0,40	0,40
Mn	1,24	1,24	1,24	1,24
P	0,03	0,03	0,03	0,03
S	0,005	0,005	0,005	0,005
C	0,10	0,10	0,10	0,10
Температура металла, °С	1600	1600	1600	1600
Выход шлака, кг/т металла	579,8	579,8	579,8	579,8
Состав шлака, %				
SiO <sub>2</sub>	34,58	34,58	34,58	34,58
MgO	40,36	40,36	40,36	40,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,89	4,89	4,89	4,89
MnO	5,32	5,32	5,32	5,32
FeO	5,00	5,00	5,00	5,00
Основность шлака, CaO/SiO <sub>2</sub>	0,28	0,28	0,28	0,28
Тепловые потери, %	35,0	35,0	35,0	35,0
Материальный баланс, кг				
Приход	1678,2	1678,2	1678,2	1678,2
Расход	1678,1	1678,1	1678,1	1678,1
Расход электроэнергии, кВт·ч/т прод.	1271,2	1229,2	1005,2	725,1
Производительность по металлу, т/сут	231,3	239,2	292,5	405,5

Таблица 3

Сравнительные показатели плавки  
в руднотермической печи

Table 3. Comparative indicators of melting  
in ore-thermal furnace



Влияние начальной температуры металлизированного сидерита (МС) на параметры руднотермической плавки:

1 – расход электроэнергии; 2 – производительность печи

Influence of initial temperature of metallized siderite (MS) on parameters of ore-thermal smelting:

1 – power consumption; 2 – furnace performance

эффективности его электроплавки. При увеличении температуры материала в диапазоне от 25 до 1000 °С происходит снижение удельного расхода электроэнергии и повышение производительности печи.

Для сравнения проведены расчеты показателей плавки в руднотермической печи с использованием в качестве исходного сырья брикетированного металлизированного сидеритового концентрата, загружаемого в печь при температуре 25 °С, при прочих равных условиях. Полученные данные вместе с расчетными показателями плавки кускового металлизированного сидеритового концентрата, загружаемого при 1000 °С, приведены в табл. 3.

Анализ полученных данных показывает, что подача в руднотермическую печь кускового металлизированного сидеритового концентрата непосредственно после выгрузки из вращающейся печи и имеющего температуру выше 1000 °С (по аналогии с технологией переработки титаномагнетитов Бушвельдского комплекса в обжиговых печах с загрузкой горячего огарка в руднотермическую печь [20]), эффективнее плавки брикетированного металлизированного сидеритового концентрата, полученного по технологии пирометаллургического обогащения сидеритов, описанной в работах [6; 12; 13].

Таким образом, если из вращающейся печи восстановительного обжига кусковой высокометаллизированный сидеритовый концентрат поступает в руднотермическую печь с температурой выше 1000 °С, в технологии пирометаллургического обогащения отпадает потребность в таких операциях, как измельчение и магнитная сепарация, необходимых для удаления пустой породы, а также сушка и брикетирование, что значительно снижает себестоимость получаемой продукции.

Как показывают расчеты, в результате плавки получается шлак с большим содержанием оксида магния, для которого характерна высокая температура плавления. Однако добавление в высокомагнезиальные сталеплавильные шлаки материала, содержащего борный

Показатель	1000 °С	25 °С
Мощность печи, МВА	16,5	
Расход железорудных компонентов, кг/т металла	1681,8	1114,1
Металлизированный концентрат (кусок), кг/т металла	1681,8	0
Металлизированный концентрат (брикет), кг/т металла	0,0	1114,1
Выход пыли, кг/т металла	46,8	27,2
Потери металла, кг/т металла	10,0	10,0
Расход электродов, кг/т металла	20,2	20,2
Состав металла, %		
Si	0,40	0,20
Mn	1,24	0,18
P	0,03	0,02
S	0,005	0,008
C	0,10	0,10
Температура металла, °С	1600	1600
Выход шлака, кг/т металла	579,8	45,7
Состав шлака, %		
SiO <sub>2</sub>	34,58	12,30
MgO	40,36	66,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,89	4,29
MnO	5,32	0,76
FeO	5,00	5,01
Основность шлака, CaO/SiO <sub>2</sub>	0,28	0,89
Тепловые потери, %	35,0	35,0
Материальный баланс, кг		
Приход	1678,2	1132,1
Расход	1678,1	1132,0
Расход электроэнергии, кВт·ч/т прод.	725,1	773,4
Производительность по металлу, т/сут	405,5	380,2

ангидрид в виде колеманита [21], приводит к значительному снижению их температуры плавления.

**Выводы**

Кусковой металлизированный сидеритовый концентрат, непосредственно из восстановительной печи в горячем виде (при температурах выше 1000 °С) загружаемый в электропечь, может быть эффективно проплавлен с получением металла – полупродукта, пригодного для дальнейшего получения стали. Чтобы при

температурах на выпуске высокомагнезиальный шлак обладал достаточной текучестью, в шихту необходимо добавлять борсодержащий материал, например, колеманит.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Ахлюстина А.И. Кристаллохимические изменения сидероплезита при обжиге бакальской железной руды. *Горный журнал*. 1968;(8):60–61.  
Akhlyustina A.I. Crystal-chemical changes in sideroplesite during firing of Bakal iron ore. *Gornyi zhurnal*. 1968;(8):60–61. (In Russ.).
- Хохлов Д.Г., Ахлюстина А.И. Технология подготовки бакальских карбонатных железных руд к доменной плавке. *Сталь*. 1968;(4):289–294.  
Khokhlov D.G., Akhlyustina A.I. Technology of Bakal carbonate iron ores preparation for blast furnace smelting. *Stal'*. 1968;(4):289–294. (In Russ.).
- Ахлюстина А.И., Жуковский Г.В., Квасков А.П. Технологическая классификация железных руд Бакальского месторождения. *Труды «Уралмеханобр»*. 1972;18:37–43.  
Akhlyustina A.I., Zhukovskii G.V., Kvaskov A.P. Technological classification of iron ores of the Bakal deposit. *Trudy "Uralmekhanobr"*. 1972;18:37–43. (In Russ.).
- Красноборов В.А., Ярошевский С.Л., Денисов А.А. и др. *Эффективность и перспективы применения сидеритовой руды в доменной плавке*. Донецк; 1996:87.
- Юрьев Б.П., Меламуд С.Г., Спиринов Н.А., Шацилло В.В. *Технологические и теплотехнические основы подготовки сидеритовых руд к металлургическим переделам: Монография*. Екатеринбург: ООО АМК «День РА»; 2016:428.
- Вусихис А.С., Леонтьев Л.И. *Применение сидеритовых руд при производстве чугуна и стали: Монография*. Москва, Вологда: Инфра-Инженерия; 2022:116.
- Тациенко П.А. *Подготовка труднообогатимых железных руд*. Москва: Недра; 1979:208.
- Тулин Н.А., Кудрявцев В.С., Пчелкин С.А. и др. *Развитие бескоксовой металлургии*. Москва: Металлургия; 1987:228.
- Курунов И.Ф., Савчук Н.А. *Состояние и перспективы бездоменной металлургии железа*. Москва: Черметинформация; 2002:186.
- Бондаренко Б.И., Шаповалов В.А., Гармаш Н.И. *Теория и технология бескоксовой металлургии*. Киев: Наукова думка; 2003:536.
- Шумаков Н.С. Получение металлized концентрата из сидеритовых руд Бакальского месторождения. *Комплексное использование минерального сырья*. 1990;(4):52–55.  
Shumakov N.S. Production of metallized concentrate from siderite ores of the Bakal deposit. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya*. 1990;(4):52–55. (In Russ.).
- Вусихис А.С., Двинин В.И., Дмитриев А.Н., и др. Оценка эффективности получения высокометаллизированного концентрата из бакальских сидеритов методом прямого восстановления во вращающейся печи. *Металлург*. 2001;(1):37–40. <https://doi.org/10.1023/A:1010495309806>
- Вусихис А.С., Двинин В.И., Дмитриев А.Н., Кашин В.В., Леонтьев Л.И., Нафиков Р.А., Чентсов А.В., Шаврин С.В. Evaluating the efficiency of producing highly metallized concentrate from Bakal siderites by hot reduction in a rotary kiln. *Metallurgist*. 2001;45(1-2):14–19.  
<https://doi.org/10.1023/A:1010495309806>
- Патент RU 2489494 С1. *Способ металлзации магний-содержащих карбонатных железорудных материалов* / Вусихис А.С., Шешуков О.Ю., Леонтьев Л.И., заявл. 05.12.2011; опубл. 10.08.2013. *Бюллетень изобретений*. 2013;(22).  
Vusikhis A.S., Sheshukov O.Yu., Leont'ev L.I. *Method of metallization of magnesium-containing carbonate iron ore materials*. Patent RF no. 2489494, МПК В21С 1/00. *Bulleten' izobretenii*. 2013;(22). (In Russ.).
- Жунев А.Г., Юрьев Б.П., Бланк М.Э. Интенсификация процессов обжига и агломерации сидеритовых руд. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации*. 1988;3:2–13.  
Zhunev A.G., Yur'ev B.P., Blank M.E. Intensification of firing and agglomeration of siderite ores. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 1988;(3):2–13. (In Russ.).
- Пахомов В.П., Душин А.В. Оценка минерально-сырьевой безопасности УрФО. *Экономика региона*. 2008;(3(15)):129–143.  
Pakhomov V.P., Dushin A.V. Analysis of the mineral-raw material safety in the Ural Federal District. *Ekonomika regiona*. 2008;(3(15)):129–143. (In Russ.).
- Валиев Н.Г., Славиковский О.В., Славиковская Ю.О. Особенности освоения минерально-сырьевой базы на урбанизированных территориях Урала. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2012;(6):344–347.  
Valiev N.G., Slavikovskii O.V., Slavikovskaya Yu.O. Features of development of mineral resource base in the Urals urbanized territories. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. 2012;(6):344–347. (In Russ.).
- Корнилков С.В., Кантемиров В.Д. Железорудные месторождения Приполярного Урала как перспективная сырьевая база уральской металлургии. *Известия вузов. Горный журнал*. 2015;(8):22–28.  
Kornilkov S.V., Kantemirov V.D. Iron ore deposits of the Nether-Urals as a prospective raw materials base for the Urals metallurgy. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2015;(8):22–28. (In Russ.).
- Соифер В.М. Использование продуктов прямого восстановления железа в электросталеплавильных печах. *Новости черной металлургии за рубежом*. 2007;(8):33–35.  
Soifer V.M. The use of products of direct iron reduction in electric furnaces. *Novosti cherno metallurgii za rubezhom*. 2007;(8):33–35. (In Russ.).
- Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Плющевский И.Н., Корнеев С.В. Перспективы производства и использования металлized сырья для получения высококачественных марок стали. Сообщение 1. Анализ современных схем получения металлized сырья. *Литье и металлургия*. 2009;(1(50)):134–138.

Timoshpol'skii V.I., Trusova I.A., Plushchevskii I.N., Korneev S.V. Prospects for production and use of metallized raw materials for obtaining high-quality steel grades. Message 1. Analysis of modern schemes for obtaining metallized raw materials. *Lit'ye i metallurgiya*. 2009;(1(50)):134–138. (In Russ.).

20. Rohmann B., Raper A.G. Recovery of vanadium from hot metal using the shaking ladle process a preliminary report. *Journal of Iron and Steel Research International*. 1970;208(4):336–342.
21. Вусихис А.С., Агафонов С.Н., Тюшняков С.Н., Сергеева С.В., Леонтьев Л.И. Влияние борного ангидрида на вязкость и температуру плавления высокомагнезиальных сталеплавильных шлаков. В кн.: *Фундаментальные*

*исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований: Труды VI Конгресса с международным участием «ТЕХНОГЕН 2023»*. Екатеринбург: УрО РАН; 2023:351–353. <https://doi.org/10.34923/technogen-ural.2023.15.21.001>

Vusikhis A.S., Agafonov S.N., Tyushnyakov S.N., Sergeeva S.V., Leont'ev L.I. Influence of boric anhydride on viscosity and melting point of high-magnesium steelmaking slags. In: *Fundamental Research and Applied Development of Processing and Disposal of Technogenic Formations: Proceedings of the VI Congress with Int. Part. TECHNOGEN 2023*. Yekaterinburg: Ural Branch of the RAS; 2023: 351–353. (In Russ.). <https://doi.org/10.34923/technogen-ural.2023.15.21.001>

### Сведения об авторах

### Information about the Authors

**Александр Семенович Вусихис**, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории пирометаллургии цветных металлов, Институт металлургии Уральского отделения РАН

ORCID: 0000-0002-6395-0834

E-mail: vas58@mail.ru

**Леопольд Игоревич Леонтьев**, академик, советник, Президиум РАН, д.т.н., профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», главный научный сотрудник, Институт металлургии Уральского отделения РАН

ORCID: 0000-0002-4343-914X

E-mail: leo@presidium.ras.ru

**Юрий Анатольевич Чесноков**, к.т.н., главный специалист, ООО «НПВП ТОРЭКС»

E-mail: garlic@torex-npvp.ru

**Aleksandr S. Vusikhis**, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Laboratory of Pyrometallurgy of Non-Ferrous Metals, Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Science

ORCID: 0000-0002-6395-0834

E-mail: vas58@mail.ru

**Leopol'd I. Leont'ev**, Academician, Adviser, Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology "MISIS", Chief Researcher, Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Science

ORCID: 0000-0002-4343-914X

E-mail: leo@presidium.ras.ru

**Yurii A. Chesnokov**, Cand. Sci. (Eng.), Chief Specialist, LLC "NPVP TOREKS"

E-mail: garlic@torex-npvp.ru

### Вклад авторов

### Contribution of the Authors

**А. С. Вусихис** – постановка задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формулирование выводов.

**Л. И. Леонтьев** – научное руководство, анализ результатов исследований, редактирование статьи.

**Ю. А. Чесноков** – проведение расчетов.

**A. S. Vusikhis** – setting the research task, performing calculations, writing the text, formation of the conclusions.

**L. I. Leont'ev** – scientific guidance, analysis of the research results, editing.

**Yu. A. Chesnokov** – calculations.

Поступила в редакцию 31.08.2023  
После доработки 20.09.2023  
Принята к публикации 04.11.2023

Received 31.08.2023  
Revised 20.09.2023  
Accepted 04.11.2023