ISSN 0368-0797 *(Print)*
ISSN 2410-2091 *(Online)*

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Том 63 Номер 5 2020

IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY Vol. 63 No. 5 2020
Web: fermet.misis.ru

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

№ 5, 2020 Издается с января 1958 г. ежемесячно Том 63

МОСКВА • МИСИС • 2020

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Главный редактор: ЛЕОНТЬЕВ Л.И.
(Российская Академия Наук, г. Москва)

Заместитель главного редактора: ПРОТОПОПОВ Е.В.
(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

Заместитель ответственного секретаря: БАЩЕНКО Л.П.
(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

Члены редакционной коллегии:

АЛЕШИН Н.П. *(Российская Академия Наук, г. Москва)*
АСТАХОВ М.В. *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
АШИХМИН Г.В. *(ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва)*
БАЙСАНОВ С.О. *(Химико-металлургический институт им. Ж.Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан)*
БЕЛОВ В.Д. *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
БРОДОВ А.А., *редактор раздела* ***«Экономическая эффективность металлургического производства»*** *(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва)*
ВОЛЫНКИНА Е.П. *(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)*
ГЛЕЗЕР А.М. *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
ГОРБАТЮК С.М. *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
ГРИГОРОВИЧ К.В., *редактор раздела* ***«Металлургические технологии»*** *(Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)*
ГРОМОВ В.Е. *(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)*
ДМИТРИЕВ А.Н. *(Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)*
ДУБ А.В. *(ЗАО «Наука и инновации», г. Москва)*
ЖУЧКОВ В.И. *(Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)*
ЗИНГЕР Р.Ф. *(Институт Фридриха-Александра, Германия)*
ЗИНИГРАД М. *(Институт Ариэля, Израиль)*
ЗОЛОТУХИН В.И. *(Тульский государственный университет, г. Тула)*
КОЛМАКОВ А.Г. *(Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)*
КОЛОКОЛЬЦЕВ В.М. *(Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск)*
КОСТИНА М.В. *(Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)*
КОСЫРЕВ К.Л. *(АО «НПО «ЦНИИТМаш», г. Москва)*
КУРГАНОВА Ю.А. *(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)*
КУРНОСОВ В.В. *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
ЛИНН Х. *(ООО «Линн Хай Терм», Германия)*
ЛЫСАК В.И. *(Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград)*
МЕШАЛКИН В.П. *(Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва)*
МУЛЮКОВ Р.Р. *(ФГБУН Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа)*
МЫШЛЯЕВ Л.П. *(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)*
НИКУЛИН С.А. *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
НУРУМГАЛИЕВ А.Х. *(Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Караганда, Республика Казахстан)*
ОСТРОВСКИЙ О.И. *(Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия)*
ПИЕТРЕЛЛИ ЛОРИС *(Итальянское национальное агентство по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию, Рим, Италия)*
ПОДГОРОДЕЦКИЙ Г.С., *редактор раздела* ***«Ресурсосбережение в черной металлургии»*** *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
ПЫШМИНЦЕВ И.Ю., *редактор раздела* ***«Инновации в металлургическом и лабораторном оборудовании, технологиях и материалах»*** *(Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности, г. Челябинск)*
РАШЕВ Ц.В., *редактор раздела* ***«Стали особого назначения»*** *(Академия наук Болгарии, Болгария)*
РУДСКОЙ А.И. *(Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург)*
СИВАК Б.А. *(АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», г. Москва)*
СИМОНЯН Л.М., *редактор раздела* ***«Экология и рациональное природопользование»*** *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
СМИРНОВ Л.А. *(ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург)*
СОЛОДОВ С.В., *редактор раздела* ***«Информационные технологии и автоматизация в черной металлургии»*** *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
СПИРИН Н.А. *(Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)*
ТАНГ ГУОИ *(Институт перспективных материалов университета Циньхуа, г. Шеньжень, Китай)*
ТЕМЛЯНЦЕВ М.В. *(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)*
ФИЛОНОВ М.Р., *редактор раздела* ***«Материаловедение»*** *(Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)*
ЧУМАНОВ И.В. *(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)*
ШЕШУКОВ О.Ю. *(Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург)*
ШПАЙДЕЛЬ М.О. *(Швейцарская академия материаловедения, Швейцария)*
ЮРЬЕВ А.Б. *(ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк)*
ЮСУПОВ В.С. *(Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва)*

Учредители:

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Сибирский государственный индустриальный университет

Настоящий номер журнала подготовлен к печати
Сибирским государственным индустриальным университетом

Адреса редакции:

119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 4
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».
Тел.: (495) 638-44-11, (499) 236-14-27
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@misis.ru
www.fermet.misis.ru

654007, Новокузнецк, 7,
Кемеровской обл., ул. Кирова, д. 42
Сибирский государственный индустриальный университет,
Тел.: (3843) 74-86-28
E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

Журнал «Известия ВУЗов. Черная металлургия» по решению ВАК входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук».

Журнал «Известия ВУЗов. Черная металлургия» индексируется в международной базе данных Scopus.

Журнал «Известия ВУЗов. Черная металлургия» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-35456

IZVESTIYA
VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA
IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY

Editor-in-Chief: LEONT'EV L.I.
(Russian Academy of Sciences, Moscow)

Deputy Editor-in-Chief: PROTOPOPOV E.V.
(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)

Deputy Coordinating Editor: BASHCHENKO L.P.
(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)

Editorial Board:

N.P. ALESHIN *(Russian Akademy of Sciences, Moscow)*
G.V. ASHIKHMIN *(JSC "Institute Tsvetmetobrabotka", Moscow)*
M.V. ASTAKHOV *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
S.O. BAISANOV *(Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Republic of Kazakhstan)*
V.D. BELOV *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
A.A. BRODOV, *Editor of the section* ***"Economic efficiency of metallurgical production"*** *(IP Bardin Central Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow)*
I.V. CHUMANOV *(South Ural State Research University, Chelyabinsk)*
A.N. DMITRIEV *(Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Federal University, Ekaterinburg)*
A.V. DUB *(JSC "Science and Innovations", Moscow)*
M.R. FILONOV, *Editor of the section* ***"Material science"*** *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
A.M. GLEZER *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
S.M. GORBATYUK *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
K.V. GRIGOROVICH, *Editor of the section* ***"Metallurgical Technologies"*** *(Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow)*
V.E. GROMOV *(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)*
A.G. KOLMAKOV *(Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow)*
V.M. KOLOKOL'TSEV *(Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk)*
M.V. KOSTINA *(Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow)*
K.L. KOSYREV *(JSC "NPO "TSNIITMash", Moscow)*
YU.A. KURGANOVA *(Bauman Moscow State Technical University, Moscow)*
V.V. KURNOSOV *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
H. LINN *(Linn High Therm GmbH, Hirschbach, Germany)*
V.I. LYSAK *(Volgograd State Technical University, Volgograd)*
V.P. MESHALKIN *(D.I. Mendeleyev Russian Chemical-Technological University, Moscow)*
R.R. MULYUKOV *(Institute of Metals Superplasticity Problems of RAS, Ufa)*
L.P. MYSHLYAEV *(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)*
S.A. NIKULIN *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
A.KH. NURUMGALIEV *(Karaganda State Industrial University, Karaganda, Republic of Kazakhstan)*
O.I. OSTROVSKI *(University of New South Wales, Sidney, Australia)*
LORIS PIETRELLI *(Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Rome, Italy)*
G.S. PODGORODETSKII, *Editor of the section* ***"Resources Saving in Ferrous Metallurgy"*** *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
I.YU. PYSHMINTSEV, *Editor of the section* ***"Inovations in metallurgical industrial and laboratory equipment, technologies and materials"*** *(Russian Research Institute of the Pipe Industry, Chelyabinsk)*
TS.V. RASHEV, *Editor of the section* ***"Superduty steel"*** *(Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria)*
A.I. RUDSKOI *(Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg)*
O.YU. SHESHUKOV *(Ural Federal University, Ekaterinburg)*
L.M. SIMONYAN, *Editor of the section* ***"Ecology Rational Use of Natural Resources"*** *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
R.F. SINGER *(Friedrich-Alexander University, Germany)*
B.A. SIVAK *(VNIIMETMASH Holding Company, Moscow)*
L.A. SMIRNOV *(OJSC "Ural Institute of Metals", Ekaterinburg)*
S.V. SOLODOV, *Editor of the section* ***"Information Technologies and Automatic Control in Ferrous Metallurgy"*** *(National Research Technological University "MISIS", Moscow)*
M. SPEIDEL *(Swiss Academy of Materials, Switzerland)*
N.A. SPIRIN *(Ural Federal University, Ekaterinburg)*
TANG GUOI *(Institute of Advanced Materials of Tsinghua University, Shenzhen, China)*
M.V. TEMLYANTSEV *(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)*
E.P. VOLYNKINA *(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)*
A.B. YUR'EV *(OJSC "ZSMK", Novokuznetsk)*
V.S. YUSUPOV *(Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of RAS, Moscow)*
V.I. ZHUCHKOV *(Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Federal University, Ekaterinburg)*
M. ZINIGRAD *(Ariel University, Israel)*
V.I. ZOLOTUKHIN *(Tula State University, Tula)*

Founders:

National Research Technological University "MISIS"

Siberian State Industrial University

This issue of the journal was prepared by
Siberian State Industrial University

Editorial Addresses:

119991, Moscow, Leninskii prosp., 4
National Research Technological University "MISIS",
Tel.: +7 (495) 638-44-11, +7 (499) 236-14-27
E-mail: fermet.misis@mail.ru, ferrous@misis.ru
www.fermet.misis.ru

654007, Novokuznetsk, Kemerovo region,
Kirova str., 42
Siberian State Industrial University.
Tel.: +7 (3843) 74-86-28
E-mail: redjizvz@sibsiu.ru

Journal "Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous metallurgy" is included in the "List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications. in which should be published major scientific results of dissertations for the degree of doctor and candidate of sciences" by the decision of the Higher Attestation Commission.

The journal "Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous metallurgy" is indexed in Scopus.

Journal "Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous metallurgy" is registered
in Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communications **PI number FS77-35456**

СОДЕРЖАНИЕ

Протопопов Е.В. СибГИУ – 90! Гордимся прошлым, развиваемся в настоящем, создаем будущее! 291

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Протопопов Е.В., Числявлев В.В., Темлянцев М.В., Головатенко А.В. Повышение эффективности рафинирования рельсовой стали в промежуточных ковшах МНЛЗ на основе рациональной организации гидродинамических процессов 298

Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н., Бащенко Л.П. Разработка и моделирование технологического процесса сварки дифференцированно термоупрочненных железнодорожных рельсов. Промышленное опробование 305

Фастыковский А.Р., Никитин А.Г., Беляев С.В., Добрянский А.В. Особенности освоения технологии прокатки-разделения на действующем непрерывном мелкосортном стане 313

Уманский А.А., Дорофеев В.В., Думова Л.В. Разработка теоретических основ энергоэффективного производства железнодорожных рельсов с повышенными эксплуатационными свойствами 318

Приходько О.Г., Деев В.Б., Прусов Е.С., Куценко А.И. Влияние теплофизических характеристик сплава и материала литейной формы на скорость затвердевания отливок 327

Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В. Исследование технологических режимов эффективной металлизации оксид-железосодержащих отходов металлургического производства ... 335

ЭКОЛОГИЯ
И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Едильбаев А.И., Едильбаев Б.А. Марганцевые руды Кемеровской области – Кузбасса и методы их обогащения 344

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Осколкова Т.Н., Симачев А.С. Влияние импульсно-плазменного модифицирования титаном и бором поверхности твердого сплава ВК10КС на его структуру и свойства 351

Зоря И.В., Полетаев Г.М., Старостенков М.Д., Ракитин Р.Ю., Коханенко Д.В. Влияние примесей легких элементов на процесс кристаллизации никеля в области тройного стыка границ зерен: молекулярно-динамическое моделирование 357

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ
ПРОМЫШЛЕННОМ И ЛАБОРАТОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ,
ТЕХНОЛОГИЯХ И МАТЕРИАЛАХ

Рыбенко И.А., Роос Х.-Г. Метод и инструментальная система для моделирования и оптимизации технологических режимов процессов прямого восстановления металлов в агрегате струйно-эмульсионного типа 364

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Зимин А.В., Золин И.А., Буркова И.В., Зимин В.В. Планирование развертывания сервисных активов, основанное на данных о применении ИТ-сервисов 373

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Глушакова О.В., Черникова О.П., Стрекалова С.А. Интегральная оценка эффективности реализации корпоративных стратегий предприятиями черной металлургии 379

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ

Цымбал В.П., Буинцев В.Н., Кожемяченко В.И., Калашников С.Н., Сеченов П.А. Математическое моделирование в учебном процессе, исследованиях и малоэнергоемких металлургических технологиях 389

CONTENTS

E.V. Protopopov To the 90th Anniversary of Siberian State Industrial University 291

METALLURGICAL TECHNOLOGIES

E.V. Protopopov, V.V. Chislavlev, M.V. Temlyantsev, A.V. Golovatenko Increasing efficiency of rail steel refining in CCM tundish based on rational organization of hydrodynamic processes 298

N.A. Kozyrev, R.A. Shevchenko, A.A. Usol'tsev, A.N. Prudnikov, L.P. Bashchenko Welding of differentially heat-strengthened rails. Industrial testing 305

A.R. Fastykovskii, A.G. Nikitin, S.V. Belyaev, A.V. Dobryanskii Features of the rolling-separation technology development on operating continuous small-grade mill 313

A.A. Umanskii, V.V. Dorofeev, L.V. Dumova Theoretical foundations for energy-efficient production of railway rails with improved performance properties 318

O.G. Prikhod'ko, V.B. Deev, E.S. Prusov, A.I. Kutsenko Influence of thermophysical characteristics of alloy and mold material on castings solidification rate 327

A.E. Anikin, G.V. Galevskii, V.V. Rudneva Technological modes of efficient metallization of iron-oxide-containing waste from metallurgical production 335

ECOLOGY AND RATIONAL USE
OF NATURAL RESOURCES

O.I. Nokhrina, I.D. Rozhikhina, A.I. Edil'baev, B.A. Edil'baev Manganese ores of the Kemerovo Region – Kuzbass and methods of their enrichment 344

MATERIAL SCIENCE

T.N. Oskolkova, A.S. Simachev Influence of pulse-plasma modification of VK10KS solid alloy surface by titanium and boron on its structure and properties 351

I.V. Zorya, G.M. Poletaev, M.D. Starostenkov, R.Yu. Rakitin, D.V. Kokhanenko Effect of light elements impurity on process of nickel crystallization near the triple interface of grain boundaries: A molecular dynamics simulation 357

INNOVATIONS IN METALLURGICAL INDUSTRIAL
AND LABORATORY EQUIPMENT, TECHNOLOGIES
AND MATERIALS

I.A. Rybenko, Roos Hans-Georg Technological modes of metals direct reduction in an aggregate of jet-emulsion type 364

INFORMATION TECHNOLOGIES
AND AUTOMATIC CONTROL IN FERROUS METALLURGY

A.V. Zimin, I.A. Zolin, I.V. Burkova, V.V. Zimin Planning service assets deployment based on information about dynamics of IT services use 373

ECONOMIC EFFICIENCY
OF METALLURGICAL PRODUCTION

O.V. Glushakova, O.P. Chernikova, S.A. Strekalova Integral assessment of corporate strategies implementation efficiency of ferrous metallurgy enterprises 379

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ

V.P. Tsymbal, V.N. Buintsev, V.I. Kozhemyachenko, S.N. Kalashnikov, P.A. Sechenov Mathematical modeling in education process, research and low-energy metallurgical technologies 389

ISSN: 0368-0797. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Том 63. № 5. С. 344 – 350.
© 2020. *Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Едильбаев А.И., Едильбаев Б.А.*

УДК 669.168

МАРГАНЦЕВЫЕ РУДЫ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА И МЕТОДЫ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ*

Нохрина О.И.[1], *д.т.н., профессор кафедры металлургии черных металлов* (kafamsf@sibsiu.ru)
Рожихина И.Д.[1], *д.т.н., профессор кафедры металлургии черных металлов* (rogihina_id@mail.ru)
Едильбаев А.И.[2], *д.т.н., генеральный директор* (ayedilbayev@mail.ru)
Едильбаев Б.А.[3], *директор* (ayedilbayev@mail.ru)

[1] **Сибирский государственный индустриальный университет**
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)
[2] **ТОО «Горное бюро»**
(050051, Республика Казахстан, Алматы, пр. Достык, 132, оф. 2)
[3] **ТОО «Электромарганец»**
(041701, Республика Казахстан, Алматинская обл., Текели, ул. Сатпаева, 1)

Аннотация. Марганцевые руды подавляющего большинства отечественных месторождений отличаются невысоким качеством и относятся к труднообогатимым: при низком (18 – 24 %) содержании марганца и высоком (отношение P/Mn > 0,006) удельном содержании фосфора они имеют повышенное содержание железа и кремния. Основная (98,5 млн т (64,2 %)) часть балансовых запасов марганцевых руд сосредоточена на крупном Усинском месторождении в Кемеровской области. Кроме Усинского в Кемеровской области разрабатываются Кайгадатское (32,7 млн т), Дурновское (300 тыс. т), Селезеньское месторождения и участок Чумай. Для комплексного подхода к решению рассматриваемой проблемы необходимо технически и экономически обосновать все этапы (разведку месторождений, добычу и обогащение марганцевых руд, последующую их переработку и потребление) вовлечения в производство марганцевых руд месторождений Кемеровской области – Кузбасса. Высококачественные марганцевые концентраты по разработанной технологии кальций-хлоридного обогащения получают из карбонатных, в том числе высокофосфористых руд Усинского месторождения, бедных оксидных и железомарганцевых руд Селезеньского и Дурновского месторождений. Извлечение марганца из марганецсодержащего сырья в концентрат составляет не менее 90 %. Полученный концентрат содержит 58 – 64 % марганца, менее 0,01 % фосфора, 0,02 – 0,05 % оксида железа, 0,5 – 1,0 % кремнезема и следы серы. Термодинамические расчеты и экспериментальные исследования по обогащению полиметаллических марганецсодержащих руд участка Чумай позволили определить основные технологические параметры извлечения ценных компонентов. Применение оптимальных технологических параметров обогащения позволяет извлекать из сырья до 95 – 97 % марганца и 98 – 99 % никеля.

Ключевые слова: марганцевые руды, концентрат химического обогащения, кальций-хлоридный способ обогащения, полиметаллические марганцевые руды, термодинамические расчеты, никелевый концентрат, железный концентрат.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-5-344-350

Введение

Для металлургических заводов Российской Федерации на сегодняшний день актуален вопрос обеспечения марганцевыми ферросплавами. Это связано с невысоким уровнем развития марганцевой рудной базы и отсутствием предприятий по подготовке марганцевого сырья для производства ферросплавов. Потребность России в марганцевых ферросплавах составляет около 670 тыс. т в год. Следует констатировать, что добыча марганцевых руд на территории страны в промышленно значимых масштабах не ведется, хотя Россия (особенно Кузбасс) обладает достаточными запасами марганцевых руд, которые позволяют при их освоении обеспечить металлургию отечественными ферросплавами.

Для обеспечения ресурсной независимости российской металлургии в обеспечении марганцевыми ферросплавами необходимо проводить работы по созданию отечественной марганцеворудной базы.

На территории России выявлено более 20 марганецсодержащих месторождений, но марганцевые руды многих из них отличаются низким (18 – 24 %) содержанием марганца, высоким (отношение P/Mn > 0,006) удельным содержанием фосфора, а также имеют повышенное содержание оксидов железа и кремния и относятся к труднообогатимым. Основные запасы марганцевых руд, составляющие около 98,5 млн т (64,2 %), сосредоточены на Усинском месторождении в Кемеровской области – Кузбассе. На долю последней приходится более 132 млн т общих разведанных запасов и более 17 млн т прогнозных ресурсов.

Кроме Усинского в Кемеровской области – Кузбассе имеются Кайгадатское (32,7 млн т), Дурновское

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Субъекта РФ (Кемеровская область – Кузбасс) в рамках научного проекта № 20-48-420001/20.

(300 тыс. т), Селезеньское месторождения и участок Чумай.

Методы исследования

Фазовый и химический составы марганцевых руд, концентратов определяли с применением методов химического, спектрального и рентгенофазового анализов.

Для разработки эффективных схем переработки марганцевых руд необходима принципиально новая стратегия концентрирования полезного компонента, базирующаяся на использовании природного свойства раскрытия марганцевых минералов уже на стадии добычи или крупного дробления, применения новых, более селективных методов обогащения. Эта задача успешно решается методами радиометрической крупнопорционной и покусковой сепараций.

Эти методы обогащения получают значительное развитие. В их основе лежит использование эффектов, которые возникают при взаимодействии излучений с компонентами руды, при этом реализуется природная неравномерность свойств (контрастность, фазовое раскрытие) элементарных объемов горной массы. Для марганцевых руд перспективными являются рентгенорадиометрический, фотометрический и рентгенолюминесцентный методы сепарации [1, 2].

Наиболее селективный метод – рентгенорадиометрический. При его реализации выполняют сортировку от каждого анализируемого куска руды по спектру рентгеновского излучения.

Радиометрическую сепарацию применяют на крупных классах руды: +10 или +20 мм. Наибольшую ценность для металлургии представляют крупнокусковые марганцевые руды, поэтому использование покусковой радиометрической сепарации для марганцевых руд оправдано и обосновано [2].

Определенный интерес обогащения бедного марганецсодержащего сырья представляют биохимические методы извлечения марганца. Сущность таких методов извлечения марганца состоит в том, что бактерии, введенные в марганецсодержащую среду, выделяют органические метаболиты (вещества, возникающие в организме в процессе обмена веществ, например, лимонную, молочную кислоты, аминокислоты), которые, взаимодействуя с марганецсодержащими минералами, переводят марганец в раствор. Затем марганец осаждают из раствора известными методами [3]. В зависимости от типа бактерий фосфор и некоторые другие элементы могут переходить в раствор или оставаться в твердом остатке.

Гидрометаллургические (химические) методы обогащения предусматривают обработку марганцевых концентратов (руд, шламов) щелочными (кислотными, солевыми) растворами с целью удаления фосфора и сохранения (повышения) содержания марганца в твердом остатке. В настоящее время наиболее изучены следующие способы: содовый, гаусманитовый, кальций-хлоридный и дитионатный [4].

Большое число разработанных химических методов дефосфорации руд связано с разнообразием как видов руд, так и форм содержания в них фосфора. Наиболее общим признаком химических методов следует признать состав химического реагента, используемого для выщелачивания марганецсодержащего сырья. В основу классификации может быть положен вид марганецсодержащего минерала, поскольку каждый минерал марганца по-своему взаимодействует с тем или иным химическим реагентом [5 – 14]. Универсальным и перспективным является кальций-хлоридный способ.

Кальций-хлоридный способ получения высококачественного концентрата предусматривает обработку руды в автоклаве при температуре 200 – 240 °С раствором хлористого кальция. Марганец переходит в раствор в виде хлорида. В концентрат извлекается только марганец, содержащийся в руде в виде карбонатов, поэтому для оксидных и оксидно-карбонатных руд этот способ не пригоден.

Суть этого способа описывается следующими обменными реакциями:

– *I* стадия

$$MnCO_3 + CaCl_2 = MnCl_2 + CaCO_3\downarrow;$$

– *II* стадия

$$MnCl_2 + Ca(OH)_2 = Mn(OH)_2\downarrow + CaCl_2.$$

На первой стадии тонко размолотая руда обрабатывается при температуре 220 – 240 °С в автоклаве насыщенным раствором хлористого кальция; на второй стадии проводят обработку раствора известковым молоком после фильтрования. Выпавший осадок прокаливают и анализируют.

Результаты исследований и их обсуждение

Место расположения Усинского месторождения – Алтае-Саянская металлогеническая провинция. Общая характеристика руд приведена в табл. 1. По результатам химического и фазового анализов содержание марганца в рудах месторождения составляет 18 – 22 %, преобладающим типом руд является карбонатный. По химическому составу руды Усинского месторождения можно отнести к бедным марганцевым рудам с высоким содержанием фосфора. В Усинской родохрозитовой руде содержание фосфора колеблется в пределах 0,14 – 0,18 % при содержании марганца 25,5 – 26,0 %.

Карбонатные руды Усинского месторождения относятся к Усинской свите раннекембрийского возраста, которая представлена известняками, доломитами, песчаниками, глинистыми и углистыми сланцами. Среди

Таблица 1

Запасы и химический состав марганцевых руд Усинского месторождения

Table 1. **Reserves and chemical composition of manganese ores from the Usinskoye deposit**

Руды, участки	Запасы по категориям $A+B+C$, млн т		Содержание, %							
	всего	выше уровня реки Усы	Mn	Fe	P	S	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO
Окисленные	5,70	1,15	–	–	–	–	–	–	–	–
Правобережный	4,54	3,34	26,9	8,50	0,27	0,05	25,30	3,70	5,0	1,30
Левобережный	1,16	–	15,8	12,40	0,33	–	–	–	–	–
Карбонатные	92,85	34,85	19,3	5,96	0,18	1,09	10,33	1,67	14,9	3,17
Правобережный	47,68	27,74	19,5	5,00	0,17	0,94	14,60	1,55	16,5	3,31
в т.ч. родохрозитовые	22,96	–	24,6	5,25	0,16	0,77	13,01	1,35	12,3	3,41
Левобережный	45,17	6,51	19,2	6,60	0,19	1,11	20,10	1,78	16,2	3,04
в т.ч. родохрозитовые	20,7	–	23,6	6,90	0,19	0,73	14,97	1,51	10,4	2,90

Примечание. По данным института «Уралгипроруд» (г. Екатеринбург) общие запасы руд в контурах открытой и подземной отработки при бортовом содержании марганца 10 % составляют 131 млн т (окисленных 5 млн т и карбонатных 126 млн т).

первичных руд выделяют родохрозитовые, известняково-родохрозитовые, хлорит-родохрозитовые. Среднее содержание в них марганца составляет 19,350 %, фосфора – 0,177 %, серы – 1,090 % [15].

Около 45 % балансовых запасов месторождения составляют запасы родохрозитовых руд, содержащие 20 – 36 % марганца. Суммарные запасы манганокальцитовых руд составляют 55 % балансовых запасов со средним содержанием марганца 14,5 %. На месторождении разведаны запасы окисленных руд в количестве 5700 тыс. т со средним содержанием марганца в балансовых рудах 26,7 % (максимально до 60,0 %). Это образования коры выветривания, основной минерал в них – псиломелан. Окисленные руды можно обогащать по следующей схеме: дробление, промывка, отсадка, мокрая магнитная сепарация с получением концентрата металлургического сорта (46,3 % Mn, 0,1 % P, 5,4 % Fe).

Селезеньское месторождение марганцевых руд находится в 65 км к юго-западу от г. Таштагол Кемеровской области – Кузбасса. В центральной его части выявлены четыре рудных тела, представляющие собой валунчатые железомарганцевые руды.

Среднее содержание по пересечениям колеблется от 5,03 % Mn и 10,06 % Fe до 28,83 % Mn и 21,75 % Fe. По результатам оценки минерального состава преобладают пиролюзит и псиломелан, криптомелан и рамсделлит представлены в меньшей степени. Химический состав руд (с содержанием 14,57 % Mn; 13,87 % $Fe_{общ}$) следующий, %: 1,53 MnO; 21,19 MnO_2; 19,81 $Fe_2O_{3\,общ}$; 0,28 P_2O_5; 48,01 SiO_2; 2,45 Al_2O_3; 0,097 TiO_2; 0,14 MgO; 0,82 CaO; 0,108 Na_2O; 0,524 K_2O; 1,12 H_2O; 0,06 Cu; 0,033 Ni; 0,052 Co; 0,039 Zn. Из анализа результатов химического и спектрального исследований следует, что руды характеризуются повышенным содержанием кобальта и никеля [16]. Марганец находится в пероксидной форме, коэффициент пероксидности составляет 1,45.

В опоискованной части Селезеньского месторождения запасы руд при бортовом содержании марганца около 10 % оцениваются в 2,1 млн т рудной массы.

Сажистые марганцевые руды, представляющие обломки железо-марганцевых руд в суглинках и глинах месторождения, содержат в среднем 6,96 – 8,24 % Mn.

Промывкой из сажистых марганцевых руд получают продукты с содержанием в них (среднее по фракциям –50 ÷ +0,16) 16,66 % Mn; 17,74 % Fe; 42,86 % SiO_2; 0,16 % P при выходе 39,2 %. Сажистые марганцевые руды занимают участки Чеболдаг-I и Чеболдаг-II, их запасы в сумме оцениваются примерно 525 тыс. т. Прогнозные ресурсы валунчатых марганцевых руд остальной площади оцениваются в 5,0 млн т.

Дурновское месторождение марганцевых руд расположено в 6 км западнее села Красное Ленинск-Кузнецкого района Кемеровской области – Кузбасса. Химический состав марганцевых руд Дурновского месторождения неоднороден: 19 – 55 % оксид марганца, 7,93 – 32,57 % диоксид кремния, 0,01 до 0,20 % пентаоксид фосфора.

Результаты рентгеноструктурного анализа подтвердили преобладание (около 78 %) псиломелана ($MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$), а также присутствие в незначительных (3,9 %) количествах пиролюзита (MnO_2), браунита ($3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$), кроме этого манганита ($MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$).

Рудные тела в зоне окисления представлены псиломеланом и рассматривались в качестве образований коры выветривания. Проведенные работы с рудными телами показали, что оруденение не ограничивается корой выветривания и псиломелановые руды на глубине

сменяются гаусманит-браунитовыми и манганокальцитовыми [17]. Железомарганцевые руды составляют большую часть запасов марганцевых руд Дурновского месторождения.

Сводные данные суммарного ($C_1 + C_2$) подсчета запасов руды и содержания марганца по рудным телам, при бортовом содержании марганца 10 %, представлены в табл. 2. Оценка металлургической ценности этих руд по показателям отношений $\frac{Fe}{Mn}$, $\frac{P}{Mn}$ и $\frac{(Mn)_p}{(SiO_2)_p}$ указывает на то, что оба типа руд не могут быть использованы для получения стандартных ферро- и силикомарганца.

Выявленные проявления качественных марганцевых руд в пределах участка Чумай (Тисульский район Кемеровской области) имеют в своем составе до 54,0 % марганца, 0,2 % фосфора и примеси цветных металлов (до 0,5 % Ni, до 3,0 % Co, до 0,2 % Cu). Они относятся к полиметаллическим марганцевым рудам. Химический соста марганцевых руд приведен ниже:

Элемент	Содержание, % (по массе)
$Mn_{общ}$	54,6
$Fe_{общ}$	4,60
P	0,20
SiO_2	7,52
CaO	0,76
Al_2O_3	1,94
BaO	0,07
Ni	0,50
Co	3,00
Cu	0,20

По результатам рентгенофазового анализа в рудах участка Чумай преобладают марганцевые руды брекчиевой текстуры, состоящей из угловатых обломков и цементирующей массы, которые различаются минеральным составом, структурой или генезисом породы [3].

Исследуемые марганцевые руды представлены различными минералами, среди которых преобладает криптомелан-голландит ($K_2Mn^{2+}Mn_6^{4+}O_{16}(OH)_4BaMn^{2+}Mn_6^{4+}O_{16}(OH)_4$), встречаются в незначительных количествах вернадит ($MnO_2 \cdot H_2O$) и пиролюзит (MnO_2). Кроме основных минералов в марганцевых рудах встречается гетит в незначительных количествах, присутствующий в рудах в виде тонкозернистых агрегатов. Наличие перечисленных минералов свидетельствует о том, что исследуемые руды относятся к вторичным окисленным марганцевым рудам.

Для комплексного подхода к решению проблемы извлечения марганца следует технически и экономически обосновать все этапы (разведку месторождений, добычу и обогащение марганцевых руд, последующую их

Таблица 2

Запасы Дурновского месторождения

Table 2. **Reserves of the Durnovskoye deposit**

Рудные тела	Запасы, тыс. т	Содержание марганца в руде, %
Окисленные руды:		
рудное тело 1	68,541	20,99
рудное тело 2	21,554	17,92
рудное тело 3	136,283	14,89
рудное тело 4	3,468	13,07
рудное тело 5	0,937	18,75
рудное тело 6	49,232	20,01
рудное тело 7	17,123	23,42
Итого по окисленным рудам	297,139	17,86
Осадочные руды (Северо-Западная залежь)	9,000	28,33
Итого по месторождению	306,139	18,16

переработку и потребление) вовлечения в производство марганцевых руд месторождений Кемеровской области – Кузбасса.

Применение рентгенорадиометрической сепарации позволило получить из карбонатных руд Усинского месторождения два концентрата: первый – с содержанием марганца 37,6 % при выходе 25,4 % от исходной руды (20,2 % Mn); второй – с содержанием 33,2 % марганца (выход 26,4 %). Содержание фосфора в концентратах составило 0,110 и 0,127 % соответственно.

Концентрат, в составе которого 46,5 % Mn, 1,0 % Fe, 15,8 % SiO_2, 0,07 % P при выходе 9,95 % получен из руд Селезеньского месторождения (14,16 % Mn; 15,23 % Fe) путем обогащения методом рентгенорадиометрической сепарации. При применении этого метода глубокой дефосфорации не достигается, так как большая часть соединений фосфора находится в срастках с минералами марганца.

В результате биохимического обогащения карбонатных руд Усинского месторождения с помощью микроорганизмов при содержании 0,12 % фосфора в исходном продукте получен продукт обогащения с содержанием 0,030 – 0,082 % P. Из манганокальцитовой руды с содержанием марганца 17,55 % был также получен положительный результат.

Высококачественные марганцевые концентраты (КХО) по разработанной технологии кальций-хлоридного обогащения получены из карбонатных, в том числе высокофосфористых руд Усинского месторождения, бедных оксидных и железомарганцевых руд Селезеньского и Дурновского месторождений. Состав полученного концентрата: 58 – 64 % марганца; менее 0,01 % фосфора; 0,02 – 0,05 % оксида железа; 0,5 – 1,0 % ди-

Таблица 3

Химический состав концентратов

Table 3. **Chemical composition of the concentrates**

Концентрат	Содержание, % (по массе)					Извлечение основного элемента, %
	Ni	Mn	Fe	Co	Cu	
Никелевый	45,0	2,30	1,40	0,50	0,10	95
Марганцевый	0,78	57,10	4,30	5,78	0,09	92
Железный	2,60	5,310	58,01	6,90	0,11	93
Кобальтовый	0,08	25,62	14,32	32,27	менее 0,02	60

оксида кремния; следы серы. Процент извлечения марганца из марганцевых руд этих месторождений составляет не менее 90 % [18].

В ходе реализации кальций-хлоридного способа для выщелачивания марганца расходуется доступный, недорогой реагент (известь), хлористый кальций при этом регенерируется. Вредные примеси марганцевой руды, представляющие собой соединения серы, фосфора и диоксида кремния, в насыщенном растворе хлористого кальция не растворяются, следовательно, отсутствует необходимость очистки раствора от вредных примесей. Все вышеперечисленное является достоинством кальций-хлоридного способа.

Экспериментальные исследования, подтверждающие термодинамические расчеты по обогащению полиметаллических марганцевых руд, расположенных на участке Чумай, позволили определить основные технологические параметры извлечения ценных компонентов. При этом в качестве растворителей использовали водные растворы хлоридов железа и кальция или сульфата железа и хлорида кальция.

При применении оптимальных технологических параметров обогащения извлечение из сырья марганца достигает 95 – 97 %, а никеля 98 – 99 %.

При обогащении происходит переход в раствор не только марганца и никеля, но и присутствующих в марганецсодержащем сырье железа и кобальта. Условия селективного осаждения этих элементов были определены экспериментально.

Состав концентратов, полученных из полиметаллического марганецсодержащего сырья, представлен в табл. 3.

Высокому извлечению оксидов марганца и никеля из полиметаллических руд способствует высокая (475 – 500 К) температура процесса, которая позволяет осуществить очистку раствора от избыточного количества хлористого железа. Это объясняется тем, что его избыток при рассматриваемой температуре гидролизуется и выпадает в осадок. Полученный марганцевый концентрат содержит в своем составе 55 – 64 % марганца; $30 - 130\,\frac{(Mn)_р}{(SiO_2)_р}$; $0{,}3\cdot10^{-5} - 0{,}16\cdot10^{-3}\,\frac{(P)_р}{(Mn)_р}$. Таких высоких показателей по качеству марганцевых концентратов при других способах обогащения получить невозможно [19, 20].

Выводы

На основании термодинамических расчетов и экспериментальных исследований разработаны технологии кальций-хлоридного обогащения марганцевых руд, которые обеспечивают повышение сквозного коэффициента извлечения марганца путем создания рациональной комбинации технологических решений при максимально эффективном использовании физико-химических свойств марганецсодержащих руд месторождений Кемеровской области – Кузбасса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвинцева Э.Г., Тигунов Л.П., Броницкая Е.С. и др. Разработка эффективных способов обогащения и переработки окисленных и карбонатных руд марганца месторождений России. – В кн.: Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. С. 138 – 143.
2. Федоров Ю.О. Опыт и практика рентгенорадиометрического обогащения марганцевых руд. – В кн.: Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. С. 163 – 165.
3. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е. Получение высококачественных концентратов при обогащении марганцевых руд: монография. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2019. – 182 с.
4. Сутырин Ю. Анализ состояния гидрометаллургической переработки марганцевого сырья // Национальная металлургия. 2003. № 2. С. 99 – 104.
5. Vracar R.Z., Cerovic K.P. Manganese leaching in the FeS_2–MnO_2–O_2–H_2O system at high temperature in an autoclave // Hydrometallurgy. 2000. Vol. 55. No. 1. P. 79 – 92.
6. Hatk P.K., Sukla L.B., Das S.C. Aqueous SO_2 leaching studies on Nishikhal manganese ore through factorial experiment // Hydrometallurgy. 2000. Vol. 54. No. 2-3. P. 217 – 228.
7. Trifoni M., Toso L., Vegliu F. Reductive leaching of manganiferous ores by glucose and H_2SO_4: Effect of alcohols // Hydrometallurgy. 2001. Vol. 59. No. 1. P. 1 – 14.
8. Veglio F., Trifoni M., Abbruzzese C., Toro L. Column leaching of a manganese dioxide ore: A study by using fractional factorial design // Hydrometallurgy. 2001. Vol. 59. No. 1. P. 31 – 44.
9. Peng Ding, Quanjun Liu, Wenhao Pang. A review of manganese ore beneficiation situation and development // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 380-384. P. 4431 – 4433.

10. Tingting Kang, Yi Liu, Yongbing Huang, Jing Dong, Qian Huang,Yuying Li. Synthesis and dephosphorization of iron manganese composite oxide by acid Leaching on Iron manganese ore // Advanced Materials Research. 2012. Vol. 554-556. P. 489 – 493.
11. Sun Da, Li Mao-lin, Li Can-hua, Cul Rui, Zheng Xia-yu. A green enriching process of Mn from low grade ore of manganese carbonate // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 644-650. P. 5427 – 5430.
12. Zhizheng Yang, Guangqiang Li, Chenghong Huang, Jinfa Ding. Mn ore smelting reduction based on double slag operation in BOF // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 753. P. 76 – 80.
13. Pan M.C., Liu X.L., Zou R., Huang J., Han J.C. Study of heat treatment technology on medium-carbon-low-alloy-steel large hammer formation of gradient performance // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 881. P. 1288 – 1292.
14. Šalak A., Selecká M. Effect of manganese addition and sintering conditions on mechanical properties of low carbon 3Cr prealloyed steels // Materials Science Forum. 2011. No. 672. P. 55 – 58.
15. Борисов С.М., Зябкин А.В., Старкин С.С. Результаты геологоразведочных работ на марганцевые руды в Кемеровской области. – В кн.: Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. С. 36 – 38.
16. Яшин В.Д., Колпак В.П., Дмитриенко В.И. и др. Селезеньская площадь проявлений марганцевых руд и перспективы их использования на ОАО «Запсибметкомбинат». – В кн.: Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. С. 44, 45.
17. Писарев Л.Н., Цильковский В.Н., Писаревский В.А. Становление Дурновского месторождения // Природно-ресурсные «Ведомости». 2001. № 19. С. 39, 40.
18. Нохрина О.И., Рожихина И.Д. Получение малофосфористого концентрата из руд и железомарганцевых конкреций // Изв. вуз. Черная металлургия. 2000. № 8. С. 40 – 45.
19. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е., Ходосов И.Е. Обогащение полиметаллических марганецсодержащих руд и рациональное использование полученных концентратов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 5. С. 309 – 315.
20. Пат. № 2583224 РФ. Способ химического обогащения полиметаллических марганецсодержащих руд / О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина, П.Д. Кравченко, О.Ю. Кичигина, М.С. Костюк. 2016. Бюл. № 13.

Поступила в редакцию 3 февраля 2019 г.
После доработки 21 февраля 2020 г.
Принята к публикации 25 февраля 2020 г.

Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2020. Vol. 63. No. 5, pp. 344–350.

MANGANESE ORES OF THE KEMEROVO REGION – KUZBASS AND METHODS OF THEIR ENRICHMENT

***O.I. Nokhrina*[1], *I.D. Rozhikhina*[1], *A.I. Edil'baev*[2], *B.A. Edil'baev*[3]**

[1] Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia
[2] LLP "Gornoe byuro»", Almaty, Republic of Kazakhstan
[3] LLP "Elektromarganets", Tekeli, Almaty Region, Republic of Kazakhstan

Abstract. Manganese ores of the vast majority of domestic deposits are of low quality: with low content of manganese (18 – 24 %) and high specific content of phosphorus (ratio P/Mn > 0.006). They have an increased content of iron and silicon and they are difficult to enrich. The main part of balance reserves of manganese ores – 98.5 million tons (64.2 %) is concentrated in large Usinskoye field in the Kemerovo region. In addition to Usinskoye, there are also deposits in this region – Kaigadatskoye (32.7 million tons), Durnovskoye (300 thousand tons), Selezenskoye fields and the Chumay plot. For a comprehensive approach to solving the proposed problem it is needed to assess technical and economic feasibility of all stages (exploration, extraction and enrichment of manganese ores, their subsequent processing and consumption) of involvement of manganese ores from these deposits in production. Using developed technology of calcium-chloride enrichment, high-quality manganese concentrates are obtained from carbonate, including high-phosphorous ores of the Usinskoye field, poor oxide and ferromanganese ores of the Selezenskoye and the Durnovskoye fields. Extraction of manganese from manganese-containing raw materials into concentrate was at least 90 %. The resulting concentrate contains 58 – 64 % of manganese, less than 0.01 % of phosphorus, 0.02 – 0.05 % of iron oxide, 0.5 – 1.0 % of silica and sulfur. Thermodynamic calculations and experimental studies on the enrichment of polymetallic manganese-containing ores from the Chumay plot allowed us to determine the main technological parameters for extracting valuable components. The use of optimal technological parameters of enrichment allows extraction of up to 95 – 97 % of manganese and 98 – 99 % of nickel from raw materials.

Keywords: manganese ores, concentrate of chemical enrichment, calcium-chloride enrichment method, polymetallic manganese ores, thermodynamic calculations, nickel concentrate, iron concentrate.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-5-344-350

REFERENCES

1. Litvintseva E.G., Tigunov L.P., Bronitskaya E.S. etc. Development of effective methods for enrichment and processing of oxidized and carbonate ores of manganese deposits in Russia. In: *Sb. nauch. tr.: Sostoyanie margantsevo-rudnoi bazy Rossii i voprosy obespecheniya promyshlennosti margantsem* [Coll. of Sci. Papers: State of the manganese ore base in Russia and issues of the industry provision with manganese]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2001, pp. 138–143. (In Russ.).
2. Fedorov Yu.O. Experience and practice of X-ray radiometric concentration of manganese ores. In: *Sb. nauch. tr: Sostoyanie margantsevo-rudnoi bazy Rossii i voprosy obespecheniya promyshlennosti margantsem* [Coll. of Sci. Papers: State of the manganese ore base in Russia and issues of the industry provision with manganese]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2001, pp. 163–165. (In Russ.).
3. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Proshunin I.E. *Poluchenie vysokokachestvennykh kontsentratov pri obogashchenii margantsevykh rud: monografiya* [Obtaining high-quality concentrates at enrichment of manganese ores: Monograph]. Novokuznetsk: ITs SiBGIU, 2019, 182 p. (In Russ.).
4. Sutyrin Yu. Analysis of hydrometallurgical processing of manganese raw materials. *Natsional'naya metallurgiya*. 2003, no. 2, pp. 99–104. (In Russ.).
5. Vracar R.Z., Cerovic K.P. Manganese leaching in the FeS_2–MnO_2–O_2–H_2O system at high temperature in an autoclave. *Hydrometallurgy*. 2000, vol. 55, no. 1, pp. 79–92.
6. Hatk P.K., Sukla L.B., Das S.C. Aqueous SO_2 leaching studies on Nishikhal manganese ore through factorial experiment. *Hydrometallurgy*. 2000, vol. 54, no. 2-3, pp. 217–228.

7. Trifoni M., Toso L., Vegliu F. Reductive leaching of manganiferous ores by glucose and H_2SO_4: Effect of alcohols. *Hydrometallurgy*. 2001, vol. 59, no. 1, pp. 1–14.
8. Veglio F., Trifoni M., Abbruzzese C., Toro L. Column leaching of a manganese dioxide ore: A study by using fractional factorial design. *Hydrometallurgy*. 2001, vol. 59, no. 1, pp. 31–44.
9. Peng Ding, Quanjun Liu, Wenhao Pang. A review of manganese ore beneficiation situation and development. *Applied Mechanics and Materials*. 2013, vol. 380-384, pp. 4431–4433.
10. Tingting Kang, Yi Liu, Yongbing Huang, Jing Dong, Qian Huang. Yuying Li. Synthesis and dephosphorization of iron manganese composite oxide by acid Leaching on Iron manganese ore. *Advanced Materials Research*. 2012, vol. 554-556, pp. 489–493.
11. Sun Da, Li Mao-lin, Li Can-hua, Cul Rui, Zheng Xia-yu. A green enriching process of Mn from low grade ore of manganese carbonate. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 644-650, pp. 5427–5430.
12. Zhizheng Yang, Guangqiang Li, Chenghong Huang, Jinfa Ding. Mn Ore Smelting Reduction Based on Double Slag Operation in BOF. *Applied Mechanics and Materials*. 2013, vol. 753, pp. 76–80.
13. Pan M.C., Liu X.L., Zou R., Huang J., Han J.C. Study of heat treatment technology on medium-carbon-low-alloy-steel large hammer formation of gradient performance. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 881, pp. 1288–1292.
14. Šalak A., Selecká M. Effect of manganese addition and sintering conditions on mechanical properties of low carbon 3Cr prealloyed steels. *Materials Science Forum*. 2011, no. 672, pp. 55–58.
15. Borisov S.M., Zyabkin A.V., Starkin S.S. Results of exploration for manganese ores in the Kemerovo region. In: *Sb. nauch. tr: Sostoyanie margantsevo-rudnoi bazy Rossii i voprosy obespecheniya promyshlennosti margantsem.* [Coll. of Sci. Papers: State of the manganese ore base in Russia and issues of the industries provision with manganese]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2001, pp. 36–38. (In Russ.).
16. Yashin V.D., Kolpak V.P., Dmitrienko V.I. etc. Selezenskaya plot of manganese ores deposit and prospects for their use at OJSC "Zapsibmetkombinat". In: *Sb. nauch. tr: Sostoyanie margantsevo-rudnoi bazy Rossii i voprosy obespecheniya promyshlennosti margantsem* [Coll. of Sci. Papers: State of the manganese ore base in Russia and issues of the industries provision with manganese]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2001, pp. 44, 45. (In Russ.).
17. Pisarev L.N., Tsil'kovskii V.N., Pisarevskii V.A. Formation of the Durnovskoye deposit. *Prirodno-resursnye "Vedomosti"*. 2001, no. 19, pp. 39, 40. (In Russ.).
18. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D. Obtaining of low-phosphorous concentrate from ores and ferromanganese nodules. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2000, no. 8, pp. 40–45. (In Russ.).
19. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Proshunin I.E., Khodosov I.E. Polymetallic manganese ore dressing and optimal use of the obtained concentrates. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 5, pp. 309–315. (In Russ.).
20. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Kravchenko P.D., Kichigina O.Yu., Kostyuk M.S. *Sposob khimicheskogo obogashcheniya polimetallicheskikh marganetssoderzhashchikh rud* [Method of chemical enrichment of polymetallic manganese-containing ores]. Patent RF no. 2583224. *Bulleten' izobretenii*. 2016, no. 13. (In Russ.).

Funding. The study was financially supported by the RFBR and the Russian Federation region (Kemerovo Region – Kuzbass) within the framework of the scientific project No. 20-48-420001/20.

Information about the authors:

O.I. Nokhrina, *Dr Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy* (kafamsf@sibsiu.ru)
I.D. Rozhikhina, *Dr Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy* (rogihina_id@mail.ru)
A.I. Edil'baev, *Dr Sci. (Eng.), General Director* (ayedilbayev@mail.ru)
B.A. Edil'baev, *Director* (ayedilbayev@mail.ru)

Received February 3, 2020
Revised February 21, 2020
Accepted February 25, 2020

Над номером работали:

Леонтьев Л.И., *главный редактор*

Протопопов Е.В., *заместитель главного редактора*

Ивани Е.А., *заместитель главного редактора*

Бащенко Л.П., *заместитель ответственного секретаря*

Потапова Е.Ю., *заместитель главного редактора по развитию*

Запольская Е.М., *ведущий редактор*

Киселева Н.Н., *ведущий редактор*

Расенець В.В., *верстка, иллюстрации*

Кузнецов А.А., *системный администратор*

Острогорская Г.Ю., *менеджер по работе с клиентами*

Подписано в печать 25.05.2020. Формат 60×90 $^{1}/_{8}$. Бум. офсетная № 1.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,0. Заказ. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Издательского Дома МИСиС.
119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.
Тел./факс: (499) 236-76-17, 236-76-35

Индекс 70383

IZVESTIYA

FERROUS METALLURGY