

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Подписные индексы: 71060 (Роспечать)
83869 (ОК «Пресса России»)

3₍₉₂₇₎ • 2020
март

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Журнал основан в 1926 г.

Официальный информационный орган Федерального УМО «Технологии материалов»

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:

Акционерное общество «Издательский дом «Руда и Металлы», федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Журнал выпускается при участии: ПАО «ГМК «Норильский никель», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», ФГБУК «Государственный Эрмитаж»;

при содействии: ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат», Научно-технического союза по горному делу, геологии и металлургии (Республика Болгария)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор **А. В. Сысоев**
Первый зам. главного редактора **В. Н. Бричкин**
Зам. главного редактора **А. Г. Воробьев**

З. С. Абишева, Р. Х. Акчурин, М. В. Астахов (редактор раздела «Наноструктурированные металлы и материалы»), **В. Ю. Бажин, Н. А. Белов** (редактор разделов «Металлообработка», «Материаловедение»), **В. А. Бочаров** (редактор раздела «Обогащение»), **Г. Ю. Боярко, В. А. Брюквин, Г. М. Вольдман** (редактор раздела «Редкие металлы, полупроводники»), **В. В. Геневски, Л. А. Глазунов, В. Б. Деев, М. И. Дли, В. А. Дмитриев, А. М. Дриц, А. В. Зиновьев, В. А. Игнаткина, М. Г. Исаенкова, В. С. Кальченко, С. С. Киров, Б. Г. Киселёв, П. А. Козлов, С. И. Корнеев** (редактор раздела «Экономика и управление производством»), **Б. А. Котляр, Ю. А. Котляр, В. А. Крюковский** (редактор раздела «Легкие металлы, углеродные материалы»), **Ф. Д. Ларичкин, А. Б. Лебедь, Е. А. Левашов** (редактор раздела «Композиционные материалы и многофункциональные покрытия»), **Ю. В. Левинский, Г. С. Макаров, Н. Е. Мальцев** (редактор раздела «Автоматизация»), **М. А. Меретуков, А. М. Мицик, В. И. Москвитин, С. С. Набойченко, А. И. Николаев, А. М. Птицын, В. К. Румянцев, А. Г. Рыжов, Ф. М. Сафин, А. Н. Селезнёв, Е. Н. Селиванов, А. В. Сулицин, А. В. Тарасов, А. Н. Фёдоров, Л. Ш. Цемехман, Л. Б. Цымбулов** (редактор раздела «Тяжелые цветные металлы»), **И. И. Чернов, М. Р. Шапировский, В. И. Щёголев**.
Зарубежные члены редколлегии: **Ж. Баатархуу** (Монголия), **В. В. Геневски** (Болгария), **Д. Дрейсингер** (Канада), **Е. Жак** (Австралия), **К. Кнуутила** (Финляндия), **Б. Фридрих** (Германия).

РЕДАКЦИЯ:

зам. главного редактора **А. Г. Воробьев**; выпускающий редактор **А. Ю. Слепцова**;
ведущий редактор **Н. В. Шаркина**; редактор **Г. Е. Форысенкова**; мл. редактор **П. А. Володина**;
ответственные за предпечатную подготовку издания **О. Ю. Жукова, Д. И. Воробьева**

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, Москва, а/я № 71

Адрес редакции: Москва, Ленинский просп., д. 6,
стр. 2, НИТУ «МИСиС», комн. 624
Почтовый адрес: 119049, Москва, а/я № 71
Тел./факс: (495) 955-01-75; моб.: 8-926-504-89-75
Эл. почта: tsvetmet@rudnet.ru; интернет: www.rudmet.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
(Свидетельство ПИ № ФС77-69818 от 29.05.2017 г.).
Товарный знак и название «Цветные металлы» являются исключительной собственностью Издательского дома «Руда и Металлы».

Материалы, отмеченные «Реклама», публикуются на правах рекламы.

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель.

Все публикуемые материалы научно-технического характера проходят обязательную стадию рецензирования.

За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор.

За сроки размещения опубликованных статей в базе данных Scopus редакция ответственности не несет.

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведение материалов, публикуемых в журнале, возможна только с письменного разрешения редакции.

При перепечатке ссылка на журнал «Цветные металлы» обязательна.

Отпечатано в типографии «Буки Веди»
Адрес типографии: 117246, Москва,
проезд Научный, д. 19, этаж 2, ком. 6Д, оф. 202.
тел.: +7(495)926-63-96

Подписано в печать с оригинал-макета 26.03.2020.
Формат 60x90 1/8. Печ. л. Бумага офсетная.
Печать офсетная.
Тираж 1500 экз. Цена свободная.
Дата выхода в свет 13.04.2020.

ISSN 0372-2929



9 770372 292006 >

Содержание

Экономика и управление производством

Международный обзор рынка цветных металлов	4
Саркисов С. С., Ломоносова Н. В., Золкина А. В., Саркисов Т. С. Интеграция цифровых технологий в горно-металлургической промышленности	7

Научно-технические разработки АО «Кольская ГМК»

Копылов В. В., Нестеров К. В., Курбатов Е. А., Молодцев М. С. Опыт эффективной переработки труднообогатимых руд на обогатительной фабрике АО «Кольская ГМК»	15
Ласкина Н. Я., Никитина Л. Н. Научно-техническая библиотека Кольской ГМК — центр притяжения металлургов.	22

Тяжелые цветные металлы

Лихникевич Е. Г., Курков А. В., Ануфриева С. И., Рогожин А. А. Гидрометаллургические процессы селективного вскрытия минерального сырья	27
Комков А. А., Каряев В. И., Соколых В. А., Кузнецов А. В. Поведение молибдена при окислительной плавке медных молибденсодержащих концентратов на штейн	31

Благородные металлы и их сплавы

Петров Г. В., Бодуэн А. Я., Фокина С. Б., Зотова И. Е. Особенности поведения комплексов иридия и рутения при сорбции в серноокислой среде	39
Федоров В. К., Шнеерсон Я. М., Афанасьев А. В., Клементьев М. В., Фоменко И. В. Краткие итоги первого года работы Покровского автоклавно-гидрометаллургического комплекса	43

Легкие металлы, углеродные материалы

Иванов М. А., Божко Г. Г., Медведев А. С., Тарасов В. П. Разработка технологии солянокислотного выщелачивания каолиновой глины Трошковского месторождения	48
Лапаев И. И., Половников В. Е., Константинов А. М., Белянин В. Е. Материальный баланс процесса прокаливания нефтяного кокса во вращающихся печах	56
Лысенко А. П., Шевченко Е. А. Использование комплексной технологии переработки шлаков алюминиевой промышленности для последующего раскисления стали	63
Яценко С. П., Скачков В. М., Пасечник Л. А., Овсянников Б. В. Цикл производства алюмоскандиевой лигатуры и сплавов	68

Редкие металлы, полупроводники

Егоров С. А., Блохин А. А., Мурашкин Ю. В., Татарников А. В. Сорбционное извлечение родия из многокомпонентных хлоридных растворов	74
Беликов М. Л., Локшин Э. П. Эффективные и доступные способы очистки различных вод от фторсодержащих неорганических примесей	79

Материаловедение

Исаенкова М. Г., Перлович Ю. А., Крымская О. А., Жук Д. И. Учет двойникования при моделировании пластической деформации α -циркония	86
---	----

Металлообработка

Негодин Д. А., Харьковский Д. Н., Дудихин Д. В. Освоение промышленного производства фольги из гафния марки ГФЭ-1	92
---	----

Хроника

ПРОСКУРИН Иван Ефимович	91
--------------------------------------	----

Журнал включен в Международные базы данных Scopus (2-й квартиль, 2019, по версии SCIMAGO), а также Chemical Abstracts Service

Журнал по решению ВАК Минобразования РФ включен 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» по разработке месторождений твердых полезных ископаемых, по металлургии, по экономике, по химии.

Статьи всех авторов, в том числе аспирантов, публикуются в порядке общей очереди бесплатно (за исключением статей рекламного характера).

Official information organ of the Federal Education and Methodics Association “Technology of metals”

Publisher: “Ore and Metals” publishing house, Moscow
The journal has been published since 1926

FOUNDERS OF “TSVETNYE METALLY” JOURNAL:

“Ore and Metals” Publishing House, National University of Science and Technology “MISIS”.

With Participation of “Norilsk Nickel” Mining and Metallurgical Company, National Research Tomsk Polytechnic University, National Research Nuclear University “MEPhI”, State Hermitage Museum.

With Assistance of Navoi Mining & Metallurgy Combinat, Scientific and Engineering Union on Mining, Geology and Metallurgy (Republic of Bulgaria).

Editorial Board:

Acting Chief Editor: **Anatoly Sysoev**; Deputy Chief Editor: **Alexander Vorobev**.
Executive Editor: **Anastasia Sleptsova**; Leading Editor: **Natalya Sharkina**; Editor: **Galina Forysenkova**; Junior Editor: **Polina Volodina**.

© Designed by: “Ore and Metals” Publishing House,
journal “Tsvetnye Metally”, 2020

Mailing address: Russia, 119049, Moscow, P. O. Box # 71

Phone/fax: +7-495-955-01-75

Internet: www.rudmet.com; **e-mail:** tsvetmet@rudmet.com

Printed in “Buki Vedi” LLC

Contents

ECONOMICS AND MANAGEMENT OF PRODUCTION

Sarkisov S. S., Lomonosova N. V., Zolkina A. V., Sarkisov T. S. Integration of digital technology in mining and metallurgy industries 7

SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENTS OF THE KOLA MMC JSC

Kopylov V. V., Nesterov K. V., Kurbatov E. A., Molodtsev M. S. The efficient practice of processing refractory ores at Kola MMC’s concentrator plant 15

HEAVY NON-FERROUS METALS

Likhnikovich E. G., Kurkov A. V., Anufrieva S. I., Rogozhin A. A. Hydrometallurgical processes of selective mineral liberation 27

Komkov A. A., Karyayev V. I., Sokolykh V. A., Kuznetsov A. V. Behaviour of molybdenum during matte smelting of molybdenum-bearing copper concentrates 31

NOBLE METALS AND ALLOYS

Petrov G. V., Boduen A. Ya., Fokina S. B., Zotova I. E. Behaviour of iridium and ruthenium complexes during sorption in sulphuric acid medium 39

Fedorov V. K., Sheerson Ya. M., Afanasiev A. V., Klementiev M. V., Fomenko I. V. Short summary of first year of the Pokrovskiy pressure oxidation hub operation 43

LIGHT METALS, CARBON MATERIALS

Ivanov M. A., Bozhko G. G., Medvedev A. S., Tarasov V. P. Developing a process for hydrochloric acid leaching of the Troshkovsky kaolin clay 48

Lapaev I. I., Polovnikov V. E., Konstantinov A. M., Belyanin V. E. Petroleum coke calcination in rotary kilns: material balance of the process 56

Lysenko A. P., Shevchenko E. A. A technique for comprehensive processing of aluminium slags and its application for further steel deoxidization 63

Yatsenko S. P., Skachkov V. M., Pasechnik L. A., Ovsyannikov B. V. Cycle of production of aluminum-scandium alloys and alloys 68

RARE METALS, SEMICONDUCTORS

Egorov S. A., Blokhin A. A., Murashkin Yu. V., Tatarnikov A. V. Extraction of rhodium from multicomponent chloride solutions by sorption 74

Belikov M. L., Lokshin E. P. Effective and affordable methods of cleaning a variety of water sources from the fluorine-containing inorganic impurities 79

MATERIALS SCIENCE

Isaenkova M. G., Perlovich Yu. A., Krymskaya O. A., Zhuk D. I. Accounting for twinning when modelling plastic deformation of α -zirconium 86

METAL PROCESSING

Negodin D. A., Kharkovskiy D. N., Dudikhin D. V. Commercial production of foil made of the GFE-1 grade hafnium 92