



*Л. Б. Цымбулов,*  
директор Департамента  
по исследованиям и разработкам  
ООО «Институт Гипроникель»,  
докт. техн. наук

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

В этом номере представлены работы специалистов Кольской горно-металлургической компании (КГМК), которая реализует большую инвестиционную программу своего развития, затрагивающую практически все основные производства от рудников до выпуска товарной продукции. В планах АО «Кольская ГМК» — развитие рудника «Северный-Глубокий», модернизация обогатительной фабрики с существенным увеличением извлечения ценных металлов, новое медное производство, совершенствование и реконструкция никелерафинировочного производства, начиная от головных переделов: флотационное разделение фajnштейна, обжиг никелевого концентрата в печах кипящего слоя, восстановление огарка в трубчатых вращающихся печах с последующей магнитной сепарацией, и заканчивая получением востребованной никель-кобальтовой продукции. Большое внимание КГМК уделяет совершенствованию технологии получения концентратов драгоценных металлов, идет освоение технологий аффинажа.

Столь обширная программа устойчивого развития требует от специалистов Компании не только глубоких производственных знаний, но и определенного опыта исследовательской работы, умения подойти к решению любой технологической проблемы творчески.

В представленном вашему вниманию номере отражена лишь небольшая часть творческого потенциала КГМК. В частности, работа «Становление научно-исследовательской базы обогатительного производства АО «Кольская ГМК»» раскрывает возможности, которыми располагает Компания в этом направлении. В статье по термодинамическому моделированию процесса обжига никелевого концентрата от разделения фajnштейна, помимо солидной теоретической основы, показано, что на основе данного подхода к моделированию процесса может быть разработана система управления технологией обжига в печи, что особенно актуально в связи с переходом на хлорное выщелачивание никелевого порошка и возросшими требованиями к качеству этого материала по сравнению с ранее применявшейся анодной плавкой. Интересен цикл работ, связанный с совершенствованием технологии магнитной сепарации восстановленного никелевого порошка. Благодаря проведенным исследованиям произойдет кардинальное повышение извлечения никеля на этом переделе, что позволит получить экономический эффект за счет сокращения незавершенного производства по никелю.

Пользуясь предоставленной мне возможностью, хочу пожелать коллективу специалистов-технологов горно-металлургического производства КГМК и дальше радовать читателей журнала содержательными научными работами. Творческих успехов вам, оригинальных идей и их успешного внедрения в производство!

# ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Подписной индекс:  
83869 (ОК «Пресса России»)

4<sup>(952)</sup> • 2022  
апрель

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Журнал основан в 1926 г.

Официальный информационный орган Федерального УМО «Технологии материалов»

## УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:

АО «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 **В. Ю. Бажин**

Первый зам. главного редактора **В. Н. Бричкин**

Первый зам. главного редактора **В. Б. Деев**

**Р. Х. Акчурун, М. В. Астахов** (редактор раздела «Наноструктурированные металлы и материалы»), **А. А. Басов, Н. А. Белов** (редактор разделов «Металлообработка», «Материаловедение»), **Н. В. Белоусова, Г. Ю. Боярко, Г. М. Вольдман** (редактор раздела «Редкие металлы, полупроводники»), **А. Г. Воробьев** (зам. главного редактора), **В. В. Геневски, В. Б. Деев, М. И. Длин, В. А. Дмитриев, А. М. Дриц, А. В. Зиновьев, В. А. Игнаткина, М. Г. Исаенкова, С. С. Киров, Б. Г. Киселёв, П. А. Козлов, С. И. Корнеев** (редактор раздела «Экономика и управление производством»), **Б. А. Котляр, В. А. Крюковский** (редактор раздела «Легкие металлы, углеродные материалы»), **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»), **С. В. Мамяченков, Т. Н. Матвеева, М. А. Меретуков, А. М. Мицик, А. Ю. Можайский, С. С. Набойченко, Н. В. Немчинова, А. И. Николаев, А. М. Птицын, В. К. Румянцев, А. Г. Рыжов, Ф. М. Сафин, А. Н. Селезнёв, А. В. Сулицин, А. П. Тюкин, 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), **Е. Жак** (Австралия), **К. Кнуутила** (Финляндия), **Б. Фридрих** (Германия).

## РЕДАКЦИЯ:

зам. главного редактора **А. Г. Воробьев**; выпускающий редактор **Н. В. Шаркина**;  
ведущий редактор **Г. Е. Форысенкова**; мл. редактор **А. И. Карташева**;  
ответственная за предпечатную подготовку издания **О. Ю. Жукова**.

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@rudmet.ru; интернет: www.rudmet.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций (Роском-  
надзор)

(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 рецензи-  
рования.

За достоверность научно-технической информации  
ответственность несет автор.

За сроки размещения метаданных опубликованных  
статей в базе данных Scopus редакция ответствен-  
ности 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 «Канцлер»  
Адрес типографии: 150044, Россия, Ярославль,  
ул. Полужина Роща, д. 16, стр. 66А,  
тел.: 8(4852)58-76-33

Подписано в печать с оригинал-макета 28.04.2022.  
Формат 60х90 1/8. Печ. л. 12. Бумага офсетная.  
Печать офсетная.  
Тираж 800 экз. Цена свободная.  
Дата выхода в свет 12.05.2022.

© Фото для обложки предоставлено пресс-службой РКК «Энергия» им. С. П. Королева.

На фото: Транспортный грузовой корабль-модуль «Прогресс М-УМ» с узловым модулем «Причал»,  
предназначенный для расширения технических и эксплуатационных возможностей Российского  
сегмента Международной космической станции.

© Оформление. АО «Издательский дом «Руда и Металлы», «Цветные металлы», 2022

ISSN 0372-2929



9 770372 292006 >

# Содержание

## Экономика и управление производством

**Международный обзор рынка цветных металлов** ..... 4

**Кольская ГМК: по пути устойчивого развития** ..... 7

**Бразюлис Л. А., Кулагина О. И., Шориков А. П.** Становление научно-исследовательской базы обогатительного производства АО «Кольская ГМК» ..... 8

**Рябушкин М. И., Романов А. Л., Пахомов Р. А., Цымбулов Л. Б.** Анализ работы и модернизация участка магнитной сепарации в новой технологии переработки никелевого концентрата в АО «Кольская ГМК». Часть 2. .... 12

**Попов В. А., Рябушкин М. И., Цемехман Р. Ш., Пахомов Р. А.** Термодинамическое моделирование окислительного обжига никелевого концентрата от разделения файнштейна в печах кипящего слоя ..... 20

## Тяжелые цветные металлы

**Вусихис А. С., Селиванов Е. Н., Леонтьев Л. И.** Термодинамическое моделирование восстановления металлов из расплавов  $B_2O_3 - CaO - FeO - PbO$  монооксидом углерода и водородом ..... 27

## Редкие металлы, полупроводники

**Абдурахмонов О. Э., Семенов С. А., Соколова Ю. В.** Экстракционное извлечение скандия из сернокислых растворов выщелачивания красных шламов алюминиевого производства. .... 33

## Композиционные материалы и многофункциональные покрытия

**Латыпов Р. А., Агеев В. В., Алтухов А. Ю., Агеева Е. В.** Аддитивные изделия из электроэрозионных кобальтохромовых порошков ..... 40

## Наноструктурированные металлы и материалы

**Тупик В. А., Марголин В. И., Кострин Д. К., Фармаковский Б. В.** Нанесение наноразмерных пленок металлов на изделия цилиндрической формы ..... 46

## Металлообработка

**Дриц А. М., Овчинников В. В., Поляков Д. А., Бакшаев В. А.** Структура и свойства соединений листов и плит сплава 1265CH2, выполненных сваркой трением с перемешиванием. .... 51

**Певзнер М. З., Сергеев Д. Г.** Влияние технологии производства латунной ленты, отожженной в поперечном магнитном поле, на механические свойства, соотношение свойств и их соответствие регламентируемым значениям ..... 60

**Шаталов Р. Л., Куликов М. А., Агафонов А. А.** Формирование силы прокатки и длины концевых участков полос из медных сплавов в неустановившихся условиях деформирования ..... 67

## Автоматизация

**Шариков Ф. Ю.** Учет конвективного тепло- и массообмена в реакторах-автоклавах при масштабировании гидротермальных и гидрометаллургических процессов ..... 77

**Мартынов С. А., Масько О. Н., Федоров С. Н.** Перспективные системы управления энергетическим режимом рудно-термических печей ..... 87

## Наши юбиляры

**КОТЛЯРУ БОРИСУ АЛЕКСАНДРОВИЧУ** — 85 лет ..... 3-я стр. обл., 96

## Хроника

**Навстречу 200-летию «Горного журнала» и 100-летию журнала «Цветные металлы»**

**Петров И. М.** Забытые имена авторов: русские горные инженеры А. С. Левитский и В. А. Петров ..... 72

\*\*\*  
**НАБОЙЧЕНКО Станислав Степанович** ..... 95

## Реклама

IX Международный промышленный форум «Неразрушающий контроль, испытания, диагностика» . . . 4-я стр. обл.

---

Журнал включен в Международные базы данных Scopus (2-й квартиль, 2020, по версии SCIMAGO),  
а также Chemical Abstracts Service

---

Журнал по решению ВАК Минобрнауки 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 Politechnic 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: **Vladimir Bazhin**; 1<sup>st</sup> Deputy Chief Editor: **Vaycheslav Brichkin**; **Vladislav Deev**; Deputy Chief Editor: **Alexander Vorobev**; Executive Editor: **Nataliya Sharkina**; Leading Editor: **Galina Forysenkova**; Junior Editor: **Anastasia Kartasheva**.

© Designed by: “Ore and Metals” Publishing House,  
journal “Tsvetnye Metally”, 2022  
**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 “Kancler” Printing House

## Contents

### KOLA MINING AND METALLURGICAL COMPANY: ON THE WAY OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

- Ryabushkin M. I., Romanov A. L., Pakhomov R. A., Tsymbulov L. B.** Magnetic separation as part of new nickel concentrate processing technology at Kola MMC: performance analysis and upgrade. Part II. . . . 12
- Popov V. A., Ryabushkin M. I., Tsemekhman L. Sh., Pakhomov R. A.** Thermodynamic modeling of oxidative roasting of nickel concentrate from matte separation in fluidized layer furnaces . . . . . 20

### HEAVY NON-FERROUS METALS

- Vusikhis A. S., Selivanov E. N., Leontiev L. I.** Carbon monoxide and hydrogen reduction of metals from the  $B_2O_3 - CaO - FeO - PbO$  melts: thermodynamic modelling . . . . . 27

### RARE METALS, SEMICONDUCTORS

- Abdurakhmonov O. E., Semenov S. A., Sokolova Yu. V.** Extraction of scandium from sulphuric acid-based red mud leach liquors . . . . . 33

### COMPOSITES AND MULTIPURPOSE COATINGS

- Latypov R. A., Ageev E. V., Altukhov A. Yu., Ageeva E. V.** Additive manufacturing parts made of cobalt-chromium powders synthesized by electroerosion dispersion . . . . . 40

### NANOSTRUCTURED METALS AND MATERIALS

- Tupik V. A., Margolin V. I., Kostrin D. K., Farmakovskiy B. V.** Deposition of metal nanofilms on cylinder-shaped items . . . . . 46

### METAL PROCESSING

- Drits A. M., Ovchinnikov V. V., Polyakov D. A., Bakshaev V. A.** Structure and properties of friction stir welded joints made in 1565chH2 alloy sheets and plates. . . . . 51
- Pevzner M. Z., Sergeev D. G.** Production of transverse magnetic field annealed brass band and how the production process influences the mechanical properties, as well as their correlation and compliance . . . . . 60
- Shatalov R. L., Kulikov M. A., Agafonov A. A.** Rolling force and length of strip head and tail sections under unsteady deformation conditions . . . . . 67

### AUTOMATION

- Sharikov F. Yu.** Taking into account convective heat and mass exchange in autoclave reactors when scaling hydrothermal and hydrometallurgical processes . . . . . 77
- Martynov S. A., Masko O. N., Fedorov S. N.** Innovative ore-thermal furnace control systems . . . . . 87