

# ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

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

2<sup>(926)</sup> • 2020  
февраль

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. Генева, 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. Генева** (Болгария), **Д. Дрейсингер** (Канада), **Е. Жак** (Австралия), **К. Кнуутила** (Финляндия), **Б. Фридрих** (Германия).

## РЕДАКЦИЯ:

зам. главного редактора **А. Г. Воробьев**; выпускающий редактор **Н. В. Шаркина**;  
ведущий редактор **А. Ю. Слепцова**; редактор **Г. Е. Форева**; мл. редактор **П. А. Володина**;  
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 (Роскомнадзор)  
(Свидетельство ПИ № ФС77-69818 от 29.05.2017 г.).  
Товарный знак и название «Цветные металлы» яв-  
ляются исключительной собственностью Изда-  
тельского 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 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 ме-  
таллы» 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 28.02.2020.  
Формат 60х90 1/8. Печ. л. 12,5. Бумага офсетная.  
Печать офсетная.  
Тираж 1500 экз. Цена свободная.  
Дата выхода в свет 13.03.2020.

ISSN 0372-2929



9 770372 292006 >

# Содержание

## Научно-технические разработки Навоийского ГМК

Санакулов К., Тагаев И. Возможности переработки минерализованной массы рудника «Мурунтау» и хвостов золотоизвлекательной фабрики бактериальным методом	5
--	---

\*\*\*

## Воспоминания о сотрудничестве с Навоийским ГМК

Вайсберг Л. А. Как мы Генерального секретаря опередили. Личный взгляд	12
---	----

## Экономика и управление производством

Международный обзор рынка цветных металлов	15
--	----

## Тяжелые цветные металлы

Шумский В. А. Роль технической организации процесса при выборе технологии плавки свинцового сырья	18
---	----

## Легкие металлы, углеродные материалы

Пак В. И., Киров С. С., Мамзурина О. И., Наливайко А. Ю. Изучение закономерностей кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия из солянокислых растворов. Часть 2. Параметры кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия	30
Горланов Е. С., Бричкин В. Н., Поляков А. А. Электролитическое производство алюминия. Обзор. Часть 1. Традиционные направления развития	36

## Редкие металлы, полупроводники

Вальков А. В. Рациональная технология разделения редкоземельных концентратов	42
--	----

## Научно-технические разработки ВНИИХТ

Бугриева Е. П., Дякин В. И., Селивановский А. К., Трубаков Ю. М. Исследование возможности извлечения редкоземельных металлов из легковскрываемой части руд месторождения Томтор	50
Кольцов В. Ю., Захаров А. А., Власова Т. В., Величкина Н. С. Технология получения редкоземельного концентрата из фосфогипса методом кучного выщелачивания	56

## Композиционные материалы и многофункциональные покрытия

Ковтунов А. И., Хохлов Ю. Ю., Мямин С. В. Технология производства и свойства композиционных материалов пеноалюминий – титан	62
Исаенкова М. Г., Перлов Ю. А., Столбов С. Д., Клюкова К. Е., Фесенко В. А., Берлин Е. В. Влияние технологии получения хромового покрытия на оболочечных трубах из сплава Zr – 1 % Nb – (O, Fe) на изменение его структуры при окислении на воздухе при температурах 400–1150 °С	66

## Металлообработка

Белов Н. А., Акопян Т. К., Мишуров С. С., Соколов А. А. Технологичность и формирование структуры алюмокальциевого доэвтектического сплава при получении слитков и деформационной обработке	76
Махина Д. Н., Денисов В. Н., Клячкин А. С., Никулин С. А. Влияние температуры горячего изостатического прессования на структуру и механические свойства биметалла алюминиевый сплав АМг6 – сталь 12Х18Н10Т	83
Щицын Ю. Д., Кривоносова Е. А., Ольшанская Т. В., Неулыбин С. Д. Влияние аддитивной плазменной наплавки на структуру и свойства сплава системы алюминий – магний – скандий	89

## Автоматизация

Абрамович Б. Н., Веприков А. А., Сычёв Ю. А., Лях Д. А. Использование активных преобразователей электроэнергии в промышленных источниках постоянного тока для питания электролизеров	95
--	----

## Наши юбилеи

ЛАРИЧКИНУ Федору Дмитриевичу — 80 лет	17
---------------------------------------	----

## Хроника

Коллеги — о плодотворном сотрудничестве с журналом «Цветные металлы»	49
--	----

---

**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 ученых степеней доктора и кандидата наук» по разработке месторождений твердых полезных ископаемых, по металлургии, экономике, 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**; 1<sup>st</sup> Deputy Chief Editor: **Vyacheslav Brichkin**; Deputy Chief Editor: **Alexander Vorobev**.  
Executive Editor: **Natalya Sharkina**; Leading Editor: **Anastasia Sleptsova**; Editor: **Galina Forysenkova**; Junior Editor: **Polina Volodina**.

© Designed by: “Ore and Metals” Publishing House,  
journal “Tsvetnye Metally”, 2019  
**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****SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENTS OF THE NAVOI MMC**

**Sanakulov K., Tagaev I.** Possibility to use bacteria for processing of mineralized mass of the Murantau pit and the gold plant tailings ..... 5

**HEAVY NON-FERROUS METALS**

**Shumskiy V. A.** Role of the technical arrangement of the process to select lead feed smelting technology ..... 18

**LIGHT METALS, CARBON MATERIALS**

**Pak V. I., Kirov S. S., Mamzurina O. I., Nalivaiyko A. Yu.** Understanding the regularities of aluminum chloride hexahydrate crystallization from hydrochloric acid solutions. Part 2. Parameters of aluminum chloride hexahydrate crystallization. .... 30

**Gorlanov E. S., Brichkin V. N., Polyakov A. A.** Electrolytic production of aluminium. Review. Part 1. Conventional areas of development ..... 36

**RARE METALS, SEMICONDUCTORS**

**Valkov A. V.** Cost-effective separation of rare earth concentrates. .... 42

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENTS OF THE VNIKhT**

**Bugrieva E. P., Dyakin V. I., Selivanovskiy A. K., Trubakov Yu. M.** Understanding the possibility of extracting easily recoverable rare metals from niobium/rare earth ores of the Tomtor deposit ..... 50

**Koltsov V. Yu., Zakharov A. A., Vlasova T. V., Velichkina N. S.** Production of rare earth concentrate from phosphogypsum by heap leaching ..... 56

**COMPOSITES AND MULTIPURPOSE COATINGS**

**Kovtunov A. I., Khokhlov Yu. Yu., Myamin S. V.** Production and properties of aluminum foam/titanium composite materials ..... 62

**Isaenkova M. G., Perlovich Yu. A., Stolbov S. D., Klyukova K. E., Fesenko V. A., Berlin E. V.** Influence of technology of obtaining chromium coating on cladding tubes from Zr – 1% Nb – (O, Fe) alloy on change of its structure during air oxidation at temperatures 400–1150 °C ..... 66

**METAL PROCESSING**

**Belov N. A., Akopyan T. K., Mishurov S. S., Sokorev A. A.** Processability and structure of aluminium-calcium hypoeutectic alloy during ingot casting and forming. .... 76

**Makhina D. N., Denisov V. N., Klyatskin A. S., Nikulin S. A.** Effect of hot isostatic pressing temperature on the structure and mechanical properties of the bimetal aluminium alloy AMg6/Steel 12Kh18N10T. .... 83

**Shchitsyn Yu. D., Krivonosova E. A., Olshanskaya T. V., Neulybin S. D.** Structure and properties of aluminium – magnesium – scandium alloy resultant from the application of plasma welding with by-layer deformation hardening ..... 89

**AUTOMATION**

**Abramovich B. N., Veprikov A. A., Sychev Yu. A., Lyakh D. A.** Use of active power transducers in industrial DC power systems supplying electrolysis cells. .... 95