



Уважаемые читатели!

Национальный исследовательский Томский государственный университет (НИ ТГУ) известен в России и мире как организация, обладающая высокими компетенциями в области добычи и изучения редких (РМ) и редкоземельных металлов (РЗМ). В престижном мировом рейтинге ARWU по направлению Metallurgical Engineering ТГУ занимает 101–150 места, уступая в России только НИТУ «МИСиС» и Белгородскому университету (НИУ «БелГУ»). В НИ ТГУ сложились научные школы в области синтеза и исследования легких сплавов на основе алюминия, магния, титана, нанокompозитов, металлов с памятью формы (никелида титана), высокоэнтропийных сплавов, технологий литья, порошковой металлургии. Точкой отсчета начала исследований в области РЗМ следует считать середину 1930-х гг., когда доктор химических наук профессор кафедры неорганической химии Виктор Васильевич Серебренников заложил в университете основы для изучения химии и технологии РЗМ. Технологии коммуникаций, микроэлектроники, автомобилестроения и энергетики базируются на потреблении принципиально нового сырья — РЗМ. В связи с этим актуальность изучения РЗЭ не подлежит сомнению.

В настоящее время ТГУ является участником подпрограммы 15 «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов» в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 29.08.2013 № 1535-р «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Под руководством академика Ю. М. Михайлова в России создана Ассоциация редких и редкоземельных металлов (членом которой является ТГУ), сфокусированная на решении стратегически важной для России цели — создании прорывных продуктов и технологий в авиакосмической отрасли, атомной промышленности, микроэлектронике и многих других высокотехнологичных гражданских отраслях, в том числе ВПК. В рамках выполнения указанной программы и деятельности Ассоциации необходимо тесное взаимодействие с крупными компаниями, добывающими и перерабатывающими

руды в целях получения РМ и РЗМ, а также с научными организациями в области поиска новых тенденций и развития технологий переработки РМ, РЗМ и создания материалов на их основе.

Для реализации этой потребности в 2014 г. по инициативе доктора химических наук заведующего Инновационно-технологическим центром ТГУ Виктора Ивановича Сачкова было предложено провести Международный симпозиум совместно с ведущими научными организациями Армении, Казахстана, Российской Федерации и др. Инициатива была поддержана, и в 2021 г. состоялся уже IV Международный симпозиум «Фундаментальные вопросы геологии, добычи, разделения редких, редкоземельных, благородных металлов и создания современных материалов на их основе». Данный выпуск журнала «Цветные металлы» поддерживает часть докладов, представленных на этом симпозиуме. Мероприятие послужило платформой для тесного взаимодействия представителей промышленных предприятий и организаций, на базе которых проводятся исследования по темам, связанным с РМ и РЗМ, в том числе обсуждения задач по разработке, освоению и адаптации ключевых технологий производства РМ и РЗМ полного цикла, в частности разделения и получения чистых индивидуальных оксидов, производства чистых металлов и сплавов, а также конечной продукции, содержащей РМ и РЗМ.

В 2021 г. по итогам работы IV Международного симпозиума ТГУ выступил одним из инициаторов создания международного консорциума по исследованию геологии, добычи, разделения редких, редкоземельных, благородных металлов и созданию современных материалов на их основе. В свою очередь, промышленное предприятие ТОО «Обуховский ГОК» (Республика Казахстан) учредило две медали: золотую медаль имени Е. П. Славского и серебряную медаль имени С. Т. Такежанова «За вклад в развитие науки и промышленности редких и редкоземельных металлов». Первым, получившим награду — серебряную медаль имени С. Т. Такежанова, стал кандидат технических наук, академик Национальной Академии Горных Наук Х. К. Абсалямов.

За период 2014–2021 гг. в работе симпозиума приняли участие более 620 специалистов из 84 организаций. ТГУ успешно продолжает научные исследования по разработке и развитию технологий, направленных на получение РМ, РЗМ и материалов на их основе.

Мы надеемся на дальнейшее долгосрочное сотрудничество с редакцией журнала «Цветные металлы» по направлениям, представляющим интерес и актуальным для ученых нашего университета.

А. Б. Ворожцов,
проректор НИ ТГУ
по научной и инновационной деятельности,
докт. физ.-мат. наук

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Подписной индекс:
83869 (ОК «Пресса России»)

3₍₉₅₁₎ • 2022
март

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. Акчурин, 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. 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, В. А. Крюковский** (редактор раздела «Легкие металлы, углеродные материалы»), **А. Б. Лебедев, 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 **Г. Е. Форысенкова**; ведущий редактор **Н. В. Шаркина**; 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 (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 метаданных 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 «Канцлер»
Адрес типографии: 150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, д. 16, стр. 66А, тел.: 8(4852)58-76-33

Подписано в печать с оригинал-макета 28.03.2022.
Формат 60х90 1/8. Печ. л. 12. Бумага офсетная.
Печать офсетная.
Тираж 800 экз. Цена свободная.
Дата выхода в свет 07.04.2022.

ISSN 0372-2929



9 770372 292006 >

Содержание

Научные разработки Национального исследовательского Томского государственного университета в области науки и технологий редких и редкоземельных металлов и материалов на их основе

Бажин В. Ю. Обращение к читателям	5
Борило Л. П., Ворожцов А. Б., Сачков В. И. Томский государственный университет — один из крупнейших классических университетов страны	6
Амеличкин И. В., Щербаков П. С., Соловьёв В. С., Бирюков Д. А. Исследование состава, способов обогащения и переработки цирконового концентрата	13
Амеличкин И. В., Щербаков П. С., Нефедова О. В., Соловьёв В. С. Определение оптимальных параметров синтеза диборидов циркония и гафния борометрическим методом	19
Кахидзе Н. И., Платов В. В., Хрусталева А. П., Ахмадиева А. А. Синтез лигатуры Al – Eг и ее влияние на структуру и физико-механические свойства сплава АМг5	24
Рыспанов Н. Б., Садиева Х. Р., Алпысбаева Ж. Т., Кожамжарова Л. С. Получение соединений цинка из фосфоритов Каратау и использование синтезированных углеродных цинксодежащих наносорбентов для очистки нефтяных продуктов от парафинов	32
Юхин Ю. М., Коледова Е. С., Даминов А. С., Шашков М. В. Переработка металлического висмута с получением его соединений	39

Кольская ГМК: по пути устойчивого развития

Нестеров К. В., Матвеев В. А. Развитие автоматизированных цифровых систем на руднике «Северный» АО «Кольская ГМК»	47
Попов В. А., Савинова Ю. А., Рябушкин М. И., Крупнов Л. В. Термодинамическое моделирование окислительного обжига сульфидного медно-никелевого концентрата	52
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 1	60

Экономика и управление производством

Международный обзор рынка цветных металлов

Легкие металлы, углеродные материалы

Бричкин В. Н., Фёдоров А. Т. Термодинамическое моделирование ионных равновесий при участии гипсита в системе $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$	74
--	----

Материаловедение

Жаров М. В. Исследование влияния увеличения интенсивности теплоотвода при кристаллизации гранул высокопрочных алюминиевых сплавов системы Al – Zn – Mg – Cu	82
--	----

Металлообработка

Типалин С. А., Шаталов Р. Л., Белоусов В. Б. Штамповка вытяжкой осесимметричных деталей из латунных листов с регламентируемым утонением	91
--	----

Наши юбиляры

КРЮКОВСКОМУ Василию Андреевичу — 80 лет	3-я стр. обл.
---	---------------

Хроника

КАЛЬЧЕНКО Владимир Степанович	81
Требования к оформлению статей	96

Журнал включен в Международные базы данных Scopus (2-й квартиль, 2020, 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 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**; 1st Deputy Chief Editor: **Vaycheslav Brichkin**; **Vladislav Deev**; Deputy Chief Editor: **Alexander Vorobev**; Executive Editor: **Galina Forsenkova**; Leading Editor: **Nataliya Sharkina**; 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

SCIENTIFIC DEVELOPMENTS OF THE NATIONAL RESEARCH TOMSK STATE UNIVERSITY IN THE FIELD OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF RARE AND RARE EARTH METALS AND MATERIALS ON THEIR BASE

- Amelichkin I. V., Shcherbakov P. S., Soloviev V. S., Biryukov D. A.** Understanding the Composition of Zircon Concentrate and Applicable Concentration and Processing Techniques 13
- Amelichkin I. V., Shcherbakov P. S., Nefedova O. V., Soloviev V. S.** Use of Thermal Boron Technique to Determine Optimum Synthesis Parameters for Zirconium and Hafnium Diborides 19
- Kakhidze N. I., Platov V. V., Khrustalev A. P., Akhmadieva A. A.** Synthesis of an Al – Er Addition Alloy and Its Effect on the Structure and Physico-Mechanical Properties of AMg5 Alloy 24
- Ryspanov N. B., Sadieva Kh. R., Alpysbaeva Zh. T., Kozhamzharova L. S.** Zinc Compounds Obtained from the Karatau Phosphorites and Removal of Paraffins from Petroleum Products Using Synthesized Carbon Nanosorbents Containing Zinc 32
- Yukhin Yu. M., Koledova E. S., Daminov A. S., Shashkov M. V.** Processing of Metallic Bismuth and Production of Bismuth Compounds 39

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

- Popov V. A., Savinova Yu. A., Ryabushkin M. I., Krupnov L. V.** Oxidizing Roasting of Sulphide Copper-Nickel Concentrate: Thermodynamic Simulation 52
- 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 I 60

LIGHT METALS, CARBON MATERIALS

- Brichkin V. N., Fedorov A. T.** Thermodynamic Modelling of Ion Equilibria in the $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$ System with Gibbsite 74

MATERIALS SCIENCE

- Zharov M. V.** Understanding the Effect of Intensified Heat Dissipation during Crystallization of High-Strength Aluminium Alloys of the Al – Zn – Mg – Cu System 82

METAL PROCESSING

- Tipalin S. A., Shatalov R. L., Belousov V. B.** Axisymmetric Drawing of Parts from Brass Sheets with Regulated Thinning 91