

# ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

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

9<sup>(933)</sup> • 2020  
сентябрь

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 **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. Генеvски, 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»), **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. Генеvски** (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**;  
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 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  
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 02.10.2020.  
Формат 60х90 1/8. Печ. л. 14,5. Бумага офсетная.  
Печать офсетная.  
Тираж 1500 экз. Цена свободная.  
Дата выхода в свет 08.10.2020.

ISSN 0372-2929



9 770372 292006 >

# Содержание

## Санкт-Петербургская школа пиро- и гидрометаллургии

### Приветствия

Набойченко С. С.	2-я с. обл.
Бричкин В. Н.	4
Цымбулов Л. Б.	3-я с. обл.

### Пирометаллургия

Лев Шлемович Цемехман В. М. Парецкий	5
Лопатин С. И., Цемехман Л. Ш., Цымбулов Л. Б. Парообразование и термодинамические свойства системы Cu – Fe – Ni – S: данные высокотемпературной дифференциальной масс-спектрометрии	6
Попов В. А., Савинова Ю. А. Термодинамическое моделирование окислительного обжига медного концентрата от разделения файнштейна	14
Цемехман Л. Ш., Цымбулов Л. Б., Максимов В. И. Проблема переработки сульфидных медно-никелевых руд Воронежской области	18
Васильев Ю. В., Платонов О. И., Цемехман Л. Ш., Цымбулов Л. Б. Время жизни алюмооксидных катализаторов конверсии восстановленного сернистого газа печи Ванюкова	23
Платонов О. И., Цемехман Л. Ш. Резервы каталитической конверсии восстановленного сернистого газа печи Ванюкова	30
Платонов О. И., Цемехман Л. Ш. К выбору технологии переработки хвостового газа установки получения серы из газов печей Ванюкова	38
Парецкий В. М. Цемехман Л. Ш. Экологические и технико-экономические преимущества технологии переработки твердых бытовых и промышленных отходов плавкой в барботируемой ванне расплава	44

### Гидрометаллургия

Яков Михайлович Шнеерсон	49
Шнеерсон Я. М., Лапин А. Ю., Кабисова А. С., Чугаев Л. В. Научно-исследовательский центр «Гидрометаллургия» — 12 лет успешной работы	50
Лапин А. Ю., Шнеерсон Я. М. История создания и освоения автоклавно-гидрометаллургической технологии по переработке никель-пирротиновых концентратов	57
Клементьев М. В., Федоров В. К., Завалюев А. С. Разработка и реализация автоклавного процесса с использованием высокоинтенсивных перемешивающих устройств	64
Косицкая Т. Ю., Лапин А. Ю., Шнеерсон Я. М. Гидрометаллургические операции в комплексной технологии переработки лимонитовых руд	71
Косицкая Т. Ю., Лапин А. Ю., Шнеерсон Я. М. Особенности поведения элементной серы в составе гидрометаллургических промпродуктов и выбор способов ее выделения в товарный продукт (В порядке обсуждения)	78
Зайцев П. В., Кравченко Н. А. Гидрометаллургическое извлечение меди и серебра из концентратов флотации смешанной руды	84
Лапин А. Ю., Косицкая Т. Ю., Шнеерсон Я. М., Богданов В. И. Способы переработки хвостов обогащения оловянно-медных руд с получением товарной продукции	91
Шахалов А. А., Оспанов Е. А., Бахвалов С. С., Фоменко И. В. Разработка комплексной гидрометаллургической технологии переработки полиметаллических концентратов и промпродуктов	99
Чугаев Л. В., Плешков М. А., Маркелов А. В. Изучение структуры потерь золота при сорбционном цианировании углистого концентрата	104
Фоменко И. В., Плешков М. А., Лях С. И., Лаевский С. И. Высокотемпературное автоклавное окисление сырья двойной упорности	110

**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**; 1<sup>st</sup> Deputy Chief Editor: **Vaycheslav Brichkin**; Deputy Chief Editor: **Alexander Vorobev**.  
Leading Editor: **Natalya Sharkina**; Executive Editor: **Anastasia Sleptsova**; Editor: **Galina Forysenkova**.

© 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

### SAINT-PETERSBURG SCIENCE SCHOOL OF PYRO- AND HYDROMETALLURGY

#### PYROMETALLURGY

- Lopatin S. I., Tsemekhman L. Sh., Tsymbulov L. B.** Evaporation and thermodynamic properties of the Cu – Fe – Ni – S system: high-temperature differential mass spectrometry data ..... 6
- Popov V. A., Savinova Yu. A.** Thermodynamic modeling of oxidative roasting of copper concentrate from high matte separation ..... 14
- Tsemekhman L. Sh., Tsymbulov L. B., Maksimov V. I.** On the problem of processing of copper-nickel sulphide ores of the Voronezh region ..... 18
- Vasiliev Yu. V., Platonov O. I., Tsemekhman L. Sh., Tsymbulov L. B.** Lifetime of alumina catalysts used for Vanyukov furnace reduced sulfurous gas conversion. .... 23

#### HYDROMETALLURGY

- Klementiev M. V., Fedorov V. K., Zavalyuev A. S.** Design and implementation of an autoclave pressure oxidation process using high-intensity agitators ..... 64
- Kositskaya T. Yu., Lapin A. Yu., Shneerson Ya. M.** Hydrometallurgical operations in complex technology of limonite ores processing ..... 71
- Zaytsev P. V., Kravchenko N. A.** Hydrometallurgical recovery of copper and silver from flotation concentrates obtained from mixed ore ..... 84
- Lapin A. Yu., Kositskaya T. Yu., Shneerson Ya. M., Bogdanov V. I.** Production of marketable products by processing tin-copper ore tailings ..... 91
- Shahalov A. A., Ospanov E. A., Bakhvalov S. S., Fomenko I. V.** Development of comprehensive hydrometallurgical technology for polymetallic concentrates and intermediate feedstock ..... 99
- Chugaev L. V., Pleshkov M. A., Markelov A. V.** Studying the gold loss structure during cil of carbonaceous concentrate ..... 104
- Fomenko I. V., Pleshkov M. A., Lyakh S. I., Laevskiy S. I.** High-temperature pressure oxidation of double refractory ore ..... 110