

# Известия вузов Цветная металлургия

## Izvestiya Non-Ferrous Metallurgy

ISSN 0021-3438  
eISSN 2412-8783



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**  
ОСНОВАН В 1958 Г.  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

<https://cvmet.misis.ru>

Журнал публикует статьи работников вузов, НИИ, РАН и промышленности России, стран СНГ, а также зарубежных авторов, содержащие новые результаты научно-исследовательских работ, обзорные статьи проблемного характера по следующим разделам:

- Обогащение руд цветных металлов
- Metallurgy цветных металлов
- Metallurgy редких и благородных металлов
- Литейное производство
- Обработка металлов давлением
- Metallovedenie и термическая обработка
- Коррозия и защита металлов
- Энерго- и ресурсосбережение



Учредителем журнала является НИТУ МИСИС. Издание ориентировано на широкий круг специалистов – металлургов, материаловедов, физиков, химиков

В редакционную коллегию входят известные отечественные и зарубежные ученые. Регулярное ознакомление с публикуемыми в журнале материалами позволит Вам быть в курсе новинок металлургии, полнее использовать на практике достижения и опыт своих коллег.

Журнал включен в перечень научных журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней.

Журнал включен в базы данных: *Scopus*, *Russian Science Citation Index (RSCI)*, *Ulrich's Periodicals Directory*, РИНЦ, БД/РЖ ВИНИТИ.

**Адрес:** 119049, Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1  
НИТУ МИСИС,  
редакция журнала  
«Известия вузов. Цветная металлургия»

**Тел.:** +7 (495) 638-45-35  
**Эл. почта:** [izv.vuz@misis.ru](mailto:izv.vuz@misis.ru)

Журнал выходит 1 раз в 2 месяца  
и распространяется на всей территории России

Подписка на журнал в печатной  
и электронной формах осуществляется  
через редакцию и агентство «Урал-Пресс»  
([www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru))

ISSN 0021-3438 (Print)

ISSN 2412-8783 (Online)

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ**  
**ЦВЕТНАЯ**  
**МЕТАЛЛУРГИЯ**

**Том 29, № 5, 2023**

Научно-технический журнал

Основан в 1958 г.

Выходит 6 раз в год

**IZVESTIYA**  
**NON-FERROUS**  
**METALLURGY**

**Vol. 29, No. 5, 2023**

Scientific and Technical Journal

Founded in 1958

6 Issues per year

# ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ ЦВЕТНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

ISSN 0021-3438 (Print)

ISSN 2412-8783 (Online)

## Том 29, № 5 2023

Научно-технический журнал

Основан в 1958 г.

Выходит 6 раз в год

<http://cvmet.misis.ru>

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ  
для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней

Журнал включен в базы данных: Russian Science Citation Index (RSCI), Chemical Abstracts (Online), INIS, OCLC ArticleFirst,  
Ulrich's Periodicals Directory, РИНЦ, БД/РЖ ВИНТИ

Учредитель



ФГАОУ ВО Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Адрес: 119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1

<http://www.misis.ru>

Главный редактор

Евгений Александрович Левашов

д.т.н., академик РАЕН, профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва

Заместитель главного редактора

Владислава Анатольевна Игнаткина

д.т.н., профессор, НИТУ МИСИС, г. Москва

Редакционная коллегия

Е.В. Агеев — д.т.н., ЮЗГУ, г. Курск  
М.В. Ананьев — д.х.н., АО «Гиредмет», г. Москва  
Н.А. Белов — д.т.н., проф., НИТУ МИСИС, г. Москва  
Е.В. Богатырева — д.т.н., НИТУ МИСИС, г. Москва  
Г.М. Вольдман — д.х.н., проф., РТУ (МИТХТ), г. Москва  
Ф.В. Гречников — д.т.н., акад. РАН, проф., СНИУ, г. Самара  
Д.В. Гундеров — д.ф.-м.н., ИФМК УНЦ РАН, г. Уфа  
В.Б. Деев — д.т.н., проф., НИТУ МИСИС, г. Москва  
В.М. Денисов — д.х.н., проф., СФУ, г. Красноярск  
Д.В. Дробот — д.х.н., проф., РТУ (МИТХТ), г. Москва  
Ю.П. Зайков — д.х.н., проф., ИВТЭ УрО РАН, г. Екатеринбург  
Р.Х. Залавутдинов — к.ф.-м.н., ИФХЭ РАН, г. Москва  
С.В. Мамяченков — д.т.н., проф., УрФУ, г. Екатеринбург  
З.А. Мансуров — д.х.н., проф., Институт проблем горения,  
г. Алматы, Казахстан  
Н.В. Немчинова — д.т.н., проф., ИРНТУ, г. Иркутск  
К.В. Никитин — д.т.н., проф., СамГТУ, г. Самара  
П.В. Поляков — д.х.н., проф., СФУ, г. Красноярск  
Е.С. Прусов — к.т.н., доцент, ВлГУ, г. Владимир  
В.Н. Рычков — д.х.н., проф., УрФУ, г. Екатеринбург  
Г.А. Салищев — д.т.н., проф., НИУ «БелГУ», г. Белгород  
В.М. Сизяков — д.т.н., проф., СПГУ, г. Санкт-Петербург

Б.Б. Страумал — д.ф.-м.н., проф., ИФТТ РАН, г. Черноголовка  
О.Ю. Ткачева — д.х.н., ИВТЭ УрО РАН, г. Екатеринбург  
Б.Б. Хина — д.ф.-м.н., доц., ФТИ НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь  
Д.В. Штанский — д.ф.-м.н., проф., НИТУ МИСИС, г. Москва  
Abhilash — Dr., Ph.D., CSIR — National Metallurgical Laboratory,  
Jamshedpur, India  
D.V. Louzguine — Prof., Dr., Tohoku University, Japan  
H.A. Oye — Prof., Dr., Norwegian University of Science and Technology,  
Trondheim, Norway  
D. Sadoway — Prof., Dr., Massachusetts Institute of Technology,  
Boston, USA  
Stopic Srecko — Dr.-Ing. habil., RWTH Aachen University,  
Aachen, Germany  
M. Verhaege — Prof., Dr., University of Gent, Belgium  
G. Xanthopoulou — Dr., National Center for Scientific Research  
«Demokritos», Agia Paraskevi, Attica, Greece  
A.L. Yerokhin — Prof., Dr., University of Manchester, United Kingdom  
Yücel Onuralp — Prof., Dr., Istanbul Technical University, Maslak,  
Istanbul, Turkey  
M. Zinigrad — Prof., Dr., Ariel University, Ariel, Israel  
A.I. Zouboulis — Prof., Dr., Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Редакция журнала

Адрес: 119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1,  
НИТУ МИСИС

Тел.: +7 (495) 638-45-35

E-mail: [izv.vuz@misis.ru](mailto:izv.vuz@misis.ru)

Свидетельство о регистрации № 015842 от 13.03.1997 г.  
Перерегистрация ПИ № ФС77-79229 от 25.09.2020 г.

Подписка: Агентство «Урал-пресс»

Ведущий редактор — А.А. Кудинова

Выпускающий редактор — О.В. Соснина

Дизайн и верстка — Е.А. Легкая

Подписано в печать 16.10.2023. Формат 60×90 1/8.  
Бум. офсетная № 1. Печать цифровая. Усл. печ. л. 9,75  
Заказ 18298. Цена свободная

Отпечатано в типографии Издательского Дома МИСИС  
119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4, стр. 1. Тел./факс: +7 (499) 236-76-17



© НИТУ МИСИС, Москва, 2023

© «Известия вузов. Цветная металлургия», 2023



Статьи доступны под лицензией Creative Commons  
Attribution Non-Commercial No Derivatives

IZVESTIYA

# NON-FERROUS METALLURGY

ISSN 0021-3438 (Print)

ISSN 2412-8783 (Online)

Vol. 29, No. 5  
2023

Scientific and Technical Journal

Founded in 1958

6 Issues per year

<http://cvmet.misis.ru>

Journal is included into the List of the peer-reviewed scientific publications recommended by the Highest Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for publishing the results of doctoral and candidate dissertations

Abstracting/Indexing: Russian Science Citation Index (RSCI), Chemical Abstracts (Online), INIS, OCLC ArticleFirst, Ulrich's Periodicals Directory, VINITI Database (Abstract Journal)

Founder



National University of Science and Technology "MISIS"

Address: 4 build. 1 Leninskiy Prospekt, Moscow 119049, Russia

<http://www.misis.ru>

Editor-in-Chief

**Evgeny A. Levashov**

Prof., Dr. Sci. (Eng.), Acad. of the RANS, NUST MISIS, Moscow, Russia

Deputy Editor

**Vladislava A. Ignatkina**

Prof., Dr. Sci., NUST MISIS, Moscow, Russia

Editorial Board

**Abhilash** – Dr., Ph.D., CSIR – National Metallurgical Laboratory, Jamshedpur, India  
**E.V. Ageev** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), SouthWest State University, Kursk, Russia  
**M.V. Ananyev** – Prof., Dr. Sci. (Chem.), Federal State Research and Development Institute of Rare Metal Industry (JSC "Giredmet"), Moscow, Russia  
**N.A. Belov** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow, Russia  
**E.V. Bogatyreva** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow, Russia  
**V.B. Deev** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), NUST MISIS, Moscow, Russia  
**V.M. Denisov** – Prof., Dr. Sci. (Chem.), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia  
**D.V. Drobot** – Prof., Dr. Sci. (Chem.), Russian Technological University (MITHT), Moscow, Russia  
**F.V. Grechnikov** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Acad. of RAS, Samara National Research University n.a. S.P. Korolev (Samara University), Samara, Russia  
**D.V. Gunderov** – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Institute of Molecule and Crystal Physics Ufa Research Center of the RAS, Ufa, Russia  
**B.B. Khina** – Dr. Sci. (Phys.-Math.), The Physical-Technical Institute of NAS of Belarus, Minsk, Belarus  
**D.V. Louzguine** – Prof., Dr. Sci., Tohoku University, Japan  
**S.V. Mamyachenkov** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia  
**Z.A. Mansurov** – Dr. Sci. (Chem.), Prof., Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan  
**N.V. Nemchinova** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia  
**K.V. Nikitin** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Samara State Technical University, Samara, Russia  
**H.A. Oye** – Prof., Dr., Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway  
**P.V. Polyakov** – Prof., Dr. Sci. (Chem.), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**E.S. Prusov** – Cand. Sci. (Eng.), Vladimir State University, Vladimir, Russia  
**V.N. Richkov** – Prof., Dr. Sci. (Chem.), Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia  
**D. Sadoway** – Prof., Dr., Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA  
**G.A. Salishchev** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Belgorod National Research University, Belgorod, Russia  
**D.V. Shtansky** – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), NUST MISIS, Moscow, Russia  
**V.M. Sizyakov** – Prof., Dr. Sci. (Eng.), Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia  
**Stopic Srecko** – Dr.-Ing. habil., RWTH Aachen University, Aachen, Germany  
**B.B. Straumal** – Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Institute of Solid State Physics of the RAS, Chernogolovka, Moscow region  
**O.Yu. Tkacheva** – Dr. Sci. (Chem.), Institute of High Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russia  
**M. Verhaege** – Prof., Dr., University of Gent, Belgium  
**G.M. Vol'dman** – Prof., Dr. Sci. (Chem.), Russian Technological University (MITHT), Moscow, Russia  
**G. Xanthopoulou** – Dr., National Center for Scientific Research "Demokritos", Agia Paraskevi, Attica, Greece  
**A.L. Yerokhin** – Prof., Dr., University of Manchester, United Kingdom  
**Onuralp Yücel** – Prof., Dr., Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul, Turkey  
**Yu.P. Zaikov** – Prof., Dr. Sci. (Chem.), Institute of High Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russia  
**R.Kh. Zhalavutdinov** – Cand. Sci. (Phys.-Math.), A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the RAS, Moscow, Russia  
**M. Zinigrad** – Prof., Dr., Ariel University, Ariel, Israel  
**A.I. Zouboulis** – Prof., Dr., Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Editorial Staff

**Address:** NUST MISIS, 4 build. 1 Leninskiy Prospekt, Moscow 119049, Russia

**Phone:** +7 (495) 638-45-35

**E-mail:** [izv.vuz@misis.ru](mailto:izv.vuz@misis.ru)

Certificate of registration No. 015842 (13.03.1997)

Re-registration PI No. ΦC77-79229 (25.09.2020)

**Subscription:** Ural-Press Agency

**Leading Editor** – A.A. Kudinova

**Executive Editor** – O.V. Sosnina

**Layout Designer** – E.A. Legkaya

Signed print 16.10.2023. Format 60×90 1/8.

Offset paper No. 1. Digital printing. Quires 9.75

Order 18298. Free price

Printed in the printing house of the MISIS Publish House

4 build. 1 Leninskiy Prospekt, Moscow 119049, Russia. Phone/fax: +7 (499) 236-76-17



© NUST MISIS, Moscow, 2023

© Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy, 2023



Articles are available under Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivatives

**Обогащение руд цветных металлов**

- 5 Лавриненко А.А., Кузнецова И.Н., Лусинян О.Г., Гольберг Г.Ю.  
Применение отечественных полимерных анионоактивных депрессоров при флотации забалансовой оталькованной медно-никелевой руды

**Металлургия цветных металлов**

- 15 Белоусова Н.В., Белоусов О.В., Борисов Р.В., Жижаев А.М., Томашевич Е.В.  
Получение металлических порошков никеля и кобальта в автоклавных условиях

**Металлургия редких и благородных металлов**

- 25 Тарганов И.Е., Солодовников М.А., Трошкина И.Д.  
Окислительное выщелачивание рения из шлифотходов ренийсодержащих суперсплавов

**Литейное производство**

- 34 Колтыгин А.В., Павлов А.В., Баженов В.Е., Гнатюк О.Д., Баранов И.И., Белов В.Д.  
Структура и свойства литейного магниевого сплава GEWZ522K системы Mg–Gd–Nd–Y–Zn–Zr
- 47 Шляпцева А.Д., Петров И.А., Ряховский А.П.  
Влияние различных титансодержащих добавок на эффективность модифицирования эвтектического сплава системы алюминий–кремний

**Металловедение и термическая обработка**

- 57 Ашмарин А.А., Гордеева М.И., Бецофен С.Я., Лозован А.А., Wu R., Александрова С.С., Селиванов А.А., Быкадоров А.Н., Прокопенко Д.А.  
Исследование влияния фазового состава на термическое расширение и механические свойства сплавов Al–Cu–Li
- 69 Шлярова Ю.А., Шляров В.В., Загуляев Д.В., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е.  
Электронно-ионно-плазменное модифицирование поверхности силумина заэвтектического состава

**Mineral Processing of Non-Ferrous Metals**

- 5 Lavrinenko A.A., Kuznetsova I.N., Lusinyan O.G., Golberg G.Yu.  
Utilizing Russian polymer anion active depressants in the flotation of out-of-balance talcose copper nickel ore

**Metallurgy of Non-Ferrous Metals**

- 15 Belousova N.V., Belousov O.V., Borisov R.V., Zhizhaev A.M., Tomashevich Ye.V.  
Production of nickel and cobalt metal powders under autoclave conditions

**Metallurgy of Rare and Precious Metals**

- 25 Targanov I.E., Solodovnikov M.A., Troshkina I.D.  
Oxidative leaching of rhenium from grinding waste of rhenium-containing superalloys

**Foundry**

- 34 Koltygin A.V., Pavlov A.V., Bazhenov V.E., Gnatyuk O.D., Baranov I.I., Belov V.D.  
Microstructure and properties of the GEWZ522K casting magnesium alloy based on the Mg–Gd–Nd–Y–Zn–Zr system
- 47 Shlyaptseva A.D., Petrov I.A., Ryakhovskiy A.P.  
Effect of different titanium-containing additives on the modification efficiency of an aluminum–silicon eutectic alloy

**Physical Metallurgy and Heat Treatment**

- 57 Ashmarin A.A., Gordeeva M.I., Betsofen S.Ya., Lozovan A.A., Wu R., Alexandrova S.S., Selivanov A.A., Bykadorov A.N., Prokopenko D.A.  
Investigation into the impact of phase composition on the thermal expansion and mechanical properties of Al–Cu–Li alloys
- 69 Shliarova Yu.A., Shlyarov V.V., Zaguliaev D.V., Ivanov Yu.F., Gromov V.E.  
Electron-ion-plasma modification of the surface of silumin of hypereutectic composition