

# ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Издается с 1926 г.  
(№ 876)

12. 2015



## В номере:

- Разработка методик опробования сырья и продуктов на содержание цветных и драгоценных металлов на обогатительных и металлургических предприятиях
- Влияние геометрических размеров включений из цветных металлов на резонансные свойства устройств СВЧ
- Свойства литых микропроводов на основе меди, полученных сверхскоростной закалкой из жидкой фазы

## Подписка на 2016 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Цветные металлы»

- ✓ Входит в международные базы данных [Scopus](#), [Chemical Abstracts Service](#)
- ✓ Включен ВАК 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»

**ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ МОЖНО ОФОРМИТЬ В РЕДАКЦИИ\*:**

Адрес: 119049, Россия, Москва, а/я 71  
Тел.: +7 (495) 955-01-75, +7 (926) 504-89-75  
Факс: +7 (495) 955-01-75  
Эл. почта: [tsvetmet@rudmet.ru](mailto:tsvetmet@rudmet.ru)

**СТОИМОСТЬ ПОДПИСКИ В РЕДАКЦИИ\*\*:**

Печатная версия (без стоимости пересылки) 2400 руб.  
Электронная версия 2200 руб.

Реклама



\* В редакции Вы можете оформить подписку с любого номера и на любой период. Также Вы можете приобрести любой номер, вышедший ранее.

\*\* Цена за 1 экз. действительна на I полугодие 2016 г.  
[www.rudmet.ru](http://www.rudmet.ru)

## Non-Ferrous Metals

Журнал «Non-ferrous Metals» выходит два раза в год.

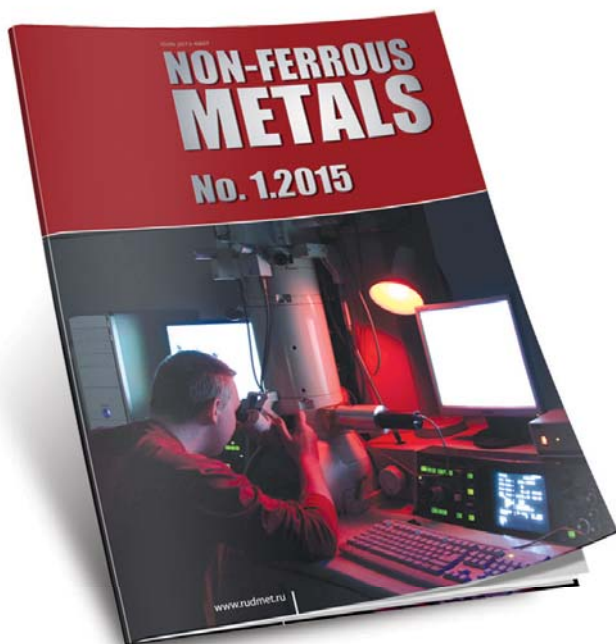
С 2013 г. журнал «Non-ferrous Metals» включен в Международную базу данных [Scopus](#) — библиографическую и реферативную базу данных, служащую инструментом для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях, и признанную Министерством образования и науки РФ в качестве одного из критериев оценки эффективности деятельности высших учебных заведений.

Для публикации к рассмотрению принимаются статьи на английском языке. По желанию авторов русскоязычные статьи могут быть переведены на английский язык силами издательства и размещены в вышеупомянутом журнале.

С 2015 г. публикуемым статьям присваиваются уникальные идентификационные номера DOI (digital object identifier).

Журнал «Non-ferrous Metals» распространяется по подписке, на международных конференциях, выставках и может быть выслан авторам статьи.

По всем вопросам обращайтесь в редакцию  
Тел.: +7 (495) 955-01-75  
Эл. почта: [tsvetmet@rudmet.ru](mailto:tsvetmet@rudmet.ru)



Реклама

### УЧРЕДИТЕЛИ:

Издательский дом «Руда и Металлы», ПАО «ГМК «Норильский никель», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

**Журнал выпускается при участии:** Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Национального исследовательского Томского политехнического университета, Государственного Эрмитажа;

**при содействии:** Научно-производственного объединения «РИВС», Навоийского горно-металлургического комбината;

**при поддержке:** Научно-технического союза по горному делу, геологии и металлургии (Респ. Болгария)

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор **А. В. Путилов**

Первый зам. главного редактора **А. В. Сысоев**

Зам. главного редактора **А. Г. Воробьев**

**З. С. Абишева, Р. Х. Акчурин, М. В. Астахов** (редактор раздела «Наноструктурированные металлы и материалы»), **Н. А. Белов** (редактор разделов «Металлообработка», «Материаловедение»), **В. А. Бочаров** (редактор раздела «Обогащение»), **Г. Ю. Боярко, В. А. Брюквин, А. А. Быкасов, Г. М. Вольдман** (редактор раздела «Редкие металлы, полупроводники»), **Н. В. Воробьев-Десятовский, В. В. Геневски, Л. А. Глазунов, Ю. Ф. Гнедин, В. А. Дмитриев, А. М. Дриц, С. Ю. Ерошевич, А. В. Зиновьев, В. А. Игнаткина, В. С. Кальченко** (редактор раздела «Легкие металлы, углеродные материалы»), **С. В. Киреев, С. С. Киров, Б. Г. Киселёв, П. А. Козлов, С. И. Корнеев, Ю. А. Король, Б. А. Котляр** (редактор раздела «Экономика и управление производством»), **Ю. А. Котляр, В. А. Крюковский, Ф. Д. Ларичкин, Е. А. Левашов** (редактор раздела «Композиционные материалы и многофункциональные покрытия»), **Ю. В. Левинский, Г. С. Макаров, Н. Е. Мальцев** (редактор раздела «Автоматизация»), **Ю. Н. Мансуров, М. А. Меретуков, В. И. Москвитин, С. С. Набойченко, А. И. Николаев, В. В. Пронников, А. М. Птицын, В. К. Румянцев, А. Г. Рыжов, Е. Н. Селиванов, Л. С. Стрижко** (редактор разделов «Тяжелые цветные металлы», «Благородные материалы и их сплавы»), **А. В. Тарасов, А. Н. Федоров, Л. Ш. Цемехман, Л. Б. Цымбулов, М. Р. Шапировский, Ю. В. Шариков, Н. В. Шаркина** (редакционный координатор), **В. И. Щеголев**.

Зарубежные члены редколлегии: **Ж. Баатархуу** (Монголия), **В. В. Геневски** (Болгария), **Д. Дрейсингер** (Канада), **Е. Жак** (Австралия), **К. Кнутила** (Финляндия), **Б. Фридрих** (Германия).

Представители Издательского дома:

в Республике Казахстан: **З. С. Абишева** (Алматы) (8-10-727) 298-45-02

в Болгарии и балканских странах: **В. В. Геневски** (София) (8-10-359-2) 987-57-27

в Чехии и Словакии: **М. А. Меретуков** (Прага) mamer@inbox.ru

в Венгрии и Австрии: **Г. Сентдьерди** (Будапешт) (8-10-36-30-9) 440-219

Партнеры:

DMG World Media (Великобритания) — [www.dmgworldmedia.com](http://www.dmgworldmedia.com); GDMB — Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik (Германия) — [www.GDMB.de](http://www.GDMB.de); Interall — International Aluminium Publications (Италия) — [www.interall.it](http://www.interall.it)

### РЕДАКЦИЯ:

зам. главного редактора **А. Г. Воробьев**; редакционный координатор, выпускающий редактор **Н. В. Шаркина**;

ведущий редактор **А. Ю. Слепцова**; редактор **А. А. Шарончикова**; младший редактор **А. С. Ахмаджиди**;

ответственная за материалы, опубликованные на английском языке **Д. В. Аникина**; корректор **Ю. И. Королёва**;

ответственные за предпечатную подготовку издания **О. Ю. Жукова**;

менеджер по производству и распространению **М. А. Уколов**.

Издатель — ЗАО «Издательский дом «Руда и Металлы»  
Адрес издателя: 119049, г. Москва, В-49, а/я № 71

Адрес редакции: г. Москва, Ленинский просп., д. 6, корп. 2, НИТУ МИСиС, комн. 624  
Почтовый адрес: 119049, г. Москва, В-49, а/я № 71  
Тел./факс: (495) 955-01-75; моб.: 8-926-504-89-75  
Эл. почта: [tsvetmet@rudmet.ru](mailto:tsvetmet@rudmet.ru); интернет: [www.rudmet.ru](http://www.rudmet.ru)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
(Свидетельство ПИ № ФС77-51659 от 02.11.2012 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.

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 «Тисо Принт»  
Адрес типографии: Москва, ул. Складочная, д. 3, корп. 6,  
тел.: (495) 504-13-56

Подписано в печать с оригинал-макета 21.12.15.  
Формат 60x90 1/8. Печ. л. 12,5.  
Бумага офсетная.  
Печать офсетная.  
Тираж 1500 экз. Цена свободная  
Дата выхода из печати 30.12.2015

ISSN 0372-2929



9 770372 292006 >

# Содержание

## Экономика и управление производством

- Международный обзор рынка цветных металлов** ..... 4  
**Козырев В. С., Нечаев А. В., Воробьев А. Г.** Цветная металлургия в горно-металлургическом комплексе стран СНГ (обзор по итогам 2014 г.). Часть 2 ..... 7

## Обогащение

- Проданов А. Н., Тюлькин А. П., Зотеев О. В.** Перспективы применения технологий пастового сгущения отходов обогащения для рекультивации отработанных карьеров ..... 13  
**Глазатов А. Н., Цемехман Л. Ш.** Разработка методик опробования сырья и продуктов на содержание цветных и драгоценных металлов на обогатительных и металлургических предприятиях. Часть 2. .... 18

## Тяжелые цветные металлы

- Курмансейтов М. Б., Федоров А. Н., Досмухамедов Н. К.** Особенности поведения цветных металлов и примесей при конвертировании медно-свинцовых штейнов ..... 25  
**Воропанова Л. А., Кокоева Н. Б.** Селективная экстракция железа и цинка из водных растворов трибутилфосфатом ..... 30

## Благородные металлы и их сплавы

- Карпов Ю. А., Барановская В. Б., Лолейт С. И., Беляев В. Н.** Аналитический контроль вторичного металлосодержащего сырья ..... 36

## Легкие металлы, углеродные материалы

- Свиридов А. В., Ганебных Е. В., Мальцев Г. И., Тимофеев К. Л.** Очистка промышленных стоков алюмосиликатными сорбентами ..... 42  
**Медведев А. С., Хайруллина Р. Т., Киров С. С., Сусс А. Г.** Получение технического оксида скандия из красного шлама Уральского алюминиевого завода ..... 47  
**Погодаев А. М., Белянин А. В., Якимов И. С., Кирко В. И.** Адсорбционные и каталитические свойства нефелинового шлама. .... 53

## Редкие металлы, полупроводники

- Смирнова А. Г., Цыганкова М. В., Николаева И. И., Зимина Г. В.** Растворимость фосфатов редкоземельных металлов в азотной кислоте ..... 57  
**Ергожин Е. Е., Чалов Т. К., Хакимболатова К. Х., Никитина А. И.** Сорбция ионов Cr (VI) и V (V) новым азотсодержащим ионитом ..... 60  
**Лисицкий И. С., Полякова Г. В., Голованов В. Ф., Кузнецов М. С.** Влияние режимов выращивания кристаллов TiCl – TiBr – TiI на структурное совершенство кристаллов ..... 64

## Композиционные материалы и многофункциональные покрытия

- Стаценко Л. Г., Пуговкина О. А., Мансуров Ю. Н.** Влияние геометрических размеров включений из цветных металлов на резонансные свойства устройств СВЧ ..... 71  
**Тарасов В. П., Игнатов А. С.** Исследование и оптимизация фазового состава магнитотвердого материала  $Sm_2Fe_{17}N_3$  ..... 76

## Материаловедение

- Логинов Ю. Н., Фомин А. А.** Сопrotивление деформации платинового сплава ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5 ..... 80

## Металлообработка

- Масайло Д. В., Песков Т. В., Суфияров В. Ш.** Свойства литых микропроводов на основе меди, полученных сверхскоростной закалкой из жидкой фазы ..... 84  
**Дриц А. М., Нуждин В. Н., Овчинников В. В., Конохов А. Д.** Исследование усталостной долговечности основного материала и сварных соединений листов из сплава 1565ч ..... 88

## Хроника

- Научно-технический прогресс и импортозамещение (итоги заседания научно-технического совета ОАО «Союзцветметавтоматика»). **Н. Е. Мальцев** ..... 56

\*\*\*

- Содержание журнала «Цветные металлы» за 2015 г. .... 94  
Требования к оформлению статей. .... 12

---

**Журнал включен в Международные базы данных Scopus, Chemical Abstracts Service**

Пятилетний импакт-фактор **РИНЦ** без самоцитирования ..... **0,155**

---

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)

---

## FOUNDERS OF “TSVETNYE METALLY” JOURNAL:

“Ore and Metals” Publishing House, “Norilsk Nickel” Mining and Metallurgical Company, National University of Science and Technology “MISIS”.

With Participation of National Research Nuclear University “MEPhI”, National Research Tomsk Polytechnic University, State Hermitage Museum.

With Assistance of Scientific and Production Association “RIVS”, Navoi Mining & Metallurgy Combinat.

With the support of Scientific and Engineering Union on Mining, Geology and Metallurgy (Republic of Bulgaria).

## Editorial Board:

Chief Editor: **Alexander Putilov**; 1<sup>st</sup> Deputy Chief Editor: **Anatoly Sysoev**; Deputy Chief Editor: **Alexander Vorobev**.  
Editorial Coordinator: **Natalya Sharkina**; Executive Editor: **Anastasia Sleptsova**; Editor: **Anastasia Sharonchikova**; Junior Editor: **Alexandra Atmadzhidi**; Responsible for content in English: **Daria Anikina**.

© Designed by: “Ore and Metals” Publishing House,  
journal “Tsvetnye Metally”, 2015

**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 “Tiso Print” publishing house

---

## Contents

---

### **ECONOMICS AND MANAGEMENT OF PRODUCTION**

- International review of market of non-ferrous metals** ..... 4  
**Kozyrev V. S., Nechaev A. V., Vorobiev A. G.** Non-ferrous metallurgy in mining-metallurgical complex of the CIS countries (2014 review). Part 2 ..... 7

### **BENEFICIATION**

- Prodanov A. N., Tyulkin A. P., Zoteev O. V.** Prospects of application of technologies of rock refuse paste thickening for coffin reclamation. .... 13  
**Glazatov A. N., Tsemekhman L. Sh.** Development of raw material and product sampling methods with determination of content of non-ferrous and precious metals at concentration and metallurgical enterprises. Part 2 ..... 18

### **HEAVY NON-FERROUS METALS**

- Kurmanseytov M. B., Fedorov A. N., Dosmukhamedov N. K.** Peculiarities of behavior of non-ferrous metals and impurities during the conversion of copper-lead converter mattes ..... 25  
**Voropanova L. A., Kokoeva N. B.** Selective extraction of iron and zinc from aqueous solutions using tributylphosphate ..... 30

### **NOBLE METALS AND ALLOYS**

- Karpov Yu. A., Baranovskaya V. B., Loley S. I., Belyaev V. N.** Analytical control of secondary metal-bearing raw materials ..... 36

### **LIGHT METALS, CARBON MATERIALS**

- Sviridov A. V., Ganebnykh E. V., Maltsev G. I., Timofeev K. L.** Waste water treatment using silica-alumina sorbents ..... 42  
**Medvedev A. S., Khayrullina R. T., Kirov S. S., Suss A. G.** Technical scandium oxide obtaining from red mud of Urals Aluminium Smelter ..... 47  
**Pogodaev A. M., Belyanin A. V., Yakimov I. S., Kirko V. I.** Adsorptive and catalytic properties of nepheline mud ..... 53

### **RARE METALS, SEMICONDUCTORS**

- Smirnova A. G., Tsygankova M. V., Nikolaeva I. I., Zimina G. V.** Dissolubility of rare-earth metal phosphates in nitric acid ..... 57  
**Ergozhin E. E., Chalov T. K., Khakimbatova K. Kh., Nikitina A. I.** Sorption of Cr (VI) and V (V) ions by new nitrogen-containing ionite ..... 60  
**Lisitskiy I. S., Polyakova G. V., Golovanov V. F., Kuznetsov M. S.** Influence of TlCl – TlBr and TlBr – TlI crystal growing modes on structural perfection of crystals ..... 64

### **COMPOSITES AND MULTIPURPOSE COATINGS**

- Statsenko L. G., Pugovkina O. A., Mansurov Yu. N.** Influence of geometrical dimensions of non-ferrous metal inclusions on resonance properties of microwave devices. .... 71  
**Tarasov V. P., Ignatov A. S.** Investigation and optimization of the phase composition of Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub> hard-magnetic materials. .... 76

### **MATERIAL SCIENCE**

- Loginov Yu. N., Fomin A. A.** Deformation resistance of platinum alloy Pt<sub>81</sub>Pd<sub>15</sub>Rh<sub>3.5</sub>Ru<sub>0.5</sub> ..... 80

### **METAL PROCESSING**

- Masaylo D. V., Peskov T. V., Sufiyarov V. Sh.** Properties of copper-based cast microwires, obtained by ultrafast liquid quenching ..... 84  
**Drits A. M., Nuzhdin V. N., Ovchinnikov V. V., Konyukhov A. D.** Investigation of fatigue life of base material and welds of 1565ch (1565ч) alloy sheets ..... 88

# Адсорбционные и каталитические свойства нефелинового шлама

УДК [66.074.3 + 66.074.5.081.3]:[66.013.8+628.5] **А. М. Погодаев**, доцент кафедры «Композиционные материалы и физикохимия металлургических процессов»<sup>1</sup>  
**А. В. Белянин**, инженер, директор по экологии и аналитическому контролю производства<sup>2</sup>  
**И. С. Якимов**, профессор кафедры «Композиционные материалы и физикохимия металлургических процессов»<sup>1</sup>, эл. почта: [i-s-yakimov@ya.ru](mailto:i-s-yakimov@ya.ru)  
**В. И. Кирко**, профессор<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

<sup>2</sup> ОАО «РУСАЛ – Красноярск», Красноярск, Россия.

<sup>3</sup> Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева, Красноярск, Россия.

Производство алюминия сопровождается образованием экологически опасных газов (HF, SO<sub>2</sub>, CO и т. д.). Предложен способ очистки отходящих газов от экологически опасных компонентов. Способ заключается в их адсорбции на нефелиновом шламе, являющемся отходом производства глинозема из нефелиновой руды. Нефелиновый шлам образуется при выщелачивании из спеченного материала алюмината натрия, вследствие чего он имеет высокоразвитую поверхность, аналогичную той, которую имеют цеолиты. Основу (85 %) нефелинового шлама составляет двухкальциевый силикат (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>). Нефелиновый шлам содержит 3,5 % оксидов железа, что с высокоразвитой поверхностью придает ему свойства катализатора. Двухкальциевый силикат может вступать в реакции с фтористым водородом и оксидами серы с образованием флюорита и сульфата кальция.

Адсорбционные и каталитические способности нефелинового шлама были изучены путем протягивания анодных газов от электролизеров Содерберга через слой шлама в патроне диаметром 70 мм со скоростью 8 л/мин. Патрон содержал 300 г сухого нефелинового шлама. Было проведено 21 испытание по 2 ч каждое. Общий объем протянутого через патрон газа составил 20 260 л. Состав газов на входе и выходе из патрона анализировали на содержание HF, SO<sub>2</sub> и CO.

По проведенным опытам получены следующие усредненные результаты. Содержание HF в газах снизилось с 428 на входе в патрон до 4,9 мг/м<sup>3</sup> на выходе из патрона, т. е. 98,85 % HF было поглощено шламом. Содержание SO<sub>2</sub> снизилось с 730 до 36,3 мг/м<sup>3</sup>, т. е. было поглощено 95 %. Вследствие проявления нефелиновым шламом свойств катализатора, а также протекания процесса окисления монооксида углерода содержание последнего в газах снизилось с 5960 до 46,5 мг/м<sup>3</sup>, т. е. почти в 100 раз.

Предлагаемый метод может быть использован на алюминиевых заводах для очистки анодных газов и для глубокой очистки газов от вредных компонентов перед их выбросом в атмосферу.

**Ключевые слова:** нефелиновый шлам, газоочистка в металлургии, рентгено-фазовый анализ, адсорбционные и каталитические свойства, анодные газы, электролизер Содерберга.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.17580/tsm.2015.12.09>

## Введение

Металлургические предприятия отечественной алюминиевой промышленности вносят существенный вклад в загрязнение окружающей среды [1–3]. Механизмы формирования и состав выбросов фтора, фтористого водорода и других вредных пылегазовых выбросов из алюминиевых электролизеров рассмотрены в работах [4–6].

Существующие способы очистки газов от агрессивных компонентов не всегда дают необходимый

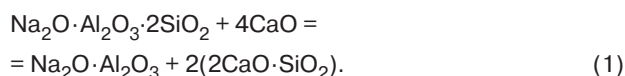
результат. По этой причине разработка новых доступных и экономичных способов очистки газов является актуальной проблемой наших дней [7–9]. Выполнено экспериментальное исследование, показывающее возможность использования для этой цели нефелинового шлама (НШ) в качестве недорогого сорбента. Образующийся при производстве глинозема из нефелиновых руд НШ подлежит захоронению на шламовых полях. Поглощающая способность НШ изучена на анодных газах алюминиевого завода, содержащих газообразные фториды, диоксид серы и оксид углерода.

### Методика эксперимента

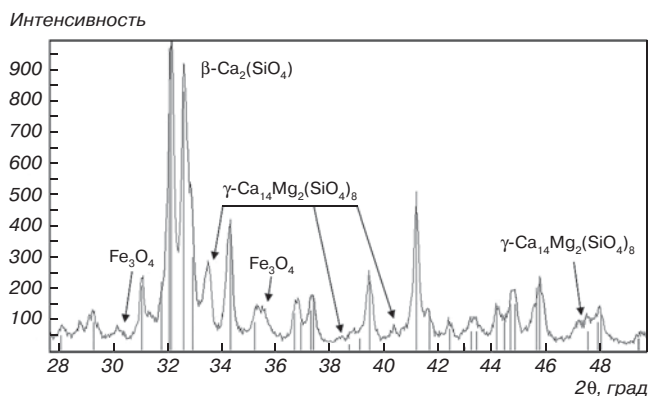
При проведении исследований использовали методы рентгенофазового (РФА) и газового анализа. Адсорбционные и каталитические способности нефелинового шлама были изучены путем протягивания анодных газов от электролизеров Содерберга через слой шлама в патроне диаметром 70 мм со скоростью 8 л/мин. Патрон содержал 300 г сухого НШ. Качественный и количественный анализ фазового состава нефелинового шлама до и после испытаний на газопоглощение проводили с использованием информационно-поисковой системы РФА по методике, описанной в работе [10]. Съемку рентгенограмм выполняли на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 Shimadzu (излучение  $\text{CuK}\alpha$ ). Анализ газа на входе в патрон и на выходе из патрона на  $\text{SO}_2$  и  $\text{CO}$  проводили в соответствии с М-МВИ-176-06 с использованием газоанализатора «МОНОЛИТ». Анализ газа на  $\text{HF}$  проводили фотометрическим методом в соответствии с МВИ № ПрВ 2000-7 с использованием фотоколориметра КФК-ЗКМ.

### Обсуждение результатов

Для извлечения глинозема из нефелиновых руд их вначале спекают с известняком. Во время спекания протекает основная реакция:



При охлаждении клинкера до  $850^\circ\text{C}$   $\alpha'$ -ромбическая структура двухкальциевого силиката переходит в  $\beta$ -моноклинную форму и далее в  $\gamma$ -ромбическую.



Рентгенограмма и фазовый состав свежего сухого нефелинового шлама; штрихи — эталонные линии  $\beta\text{-Ca}_2(\text{SiO}_4)$

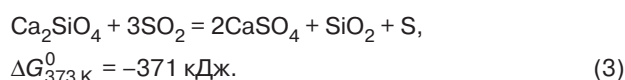
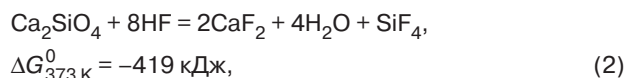
Результаты испытаний нефелинового шлама			
Газы	Вход, мг/м <sup>3</sup>	Выход, мг/м <sup>3</sup>	Поглощено, %
Газообразные фториды	428	4,9	98,8
$\text{SO}_2$	730	36,2	95,0
$\text{CO}$	5960	46,5	99,2

Фазовые переходы сопровождаются возрастанием удельного объема двухкальциевого силиката на  $\sim 12\%$ , что создает высокое внутреннее напряжение в материале и, как следствие, склонность его к саморазрушению. После выщелачивания алюмината натрия из клинкера остается нефелиновый шлам с высокоразвитой поверхностью и множеством ненасыщенных связей. На рисунке приведена рентгенограмма исходного свежего сухого нефелинового шлама.

Рентгенофазовый анализ показал, что основой нефелинового шлама является двухкальциевый силикат, который на 70 % представлен в моноклинной  $\beta\text{-Ca}_2(\text{SiO}_4)$  (ларнит) и на 15 % — в  $\gamma$ -ромбической форме  $\text{Ca}_{14}\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)_8$  (бредигит). Шлам также содержит магнетит (3,5 %  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) и ряд примесных фаз: кальцит  $\text{CaCO}_3$ , доломит  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , микроклин  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , геленит  $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSiO}_7)$  и другие (от 1 до 3 %).

Характеристики состава анодных газов алюминиевого производства и проблемы их очистки от вредных компонентов описаны в монографии [4]. Авторами было проведено 21 испытание: анодные газы электролизера Содерберга пропускали через слой шлама в патроне. Их длительность составляла 2 ч; общий объем протянутого через патрон газа — 20 260 л. Состав газов на входе в патрон и выходе из него анализировали на содержание газообразных фторидов, диоксида серы и монооксида углерода. Необходимо отметить, что и через 42 ч испытаний патрон с нефелиновым шламом не был «отравлен» и оставался в рабочем состоянии. В таблице приведены усредненные результаты испытаний адсорбционных и каталитических свойств нефелинового шлама.

Как следует из приведенных в таблице результатов испытаний, НШ поглотил 98,8 % газообразных фторидов и 95 % диоксида серы. При взаимодействии анодных газов с НШ высокую вероятность протекания имеют реакции с образованием малорастворимых в воде флюорита и сульфата кальция:



Кроме того, НШ проявил свойства катализатора процесса окисления монооксида углерода, содержание которого в газовой фазе снизилось почти в 100 раз. Роль катализатора обусловлена, по-видимому, как высокоразвитой внутренней поверхностью НШ, в некоторой степени сопоставимой с внутренней поверхностью цеолитов, так и содержанием в шламе оксидов железа, обладающих каталитическими свойствами [11]. Это соответствует данным работы [12], подтверждающим, что добавление оксида железа значительно увеличивает каталитическую активность золотосодержащих цеолитов в реакции окисления  $\text{CO}$ , а также

приведенным в статье [13], в которой сообщается, что красный шлам глиноземного производства и отходящие газы ферросплавных печей после некоторой подготовки пригодны для проведения реакции распада монооксида углерода.

Результаты расчетов, выполненных с привлечением показателей лабораторных испытаний, позволяют заключить, что для очистки анодных газов от фтористого водорода потребуется ~50 кг НШ на 1 т произведенного алюминия. Кроме того, предлагаемый адсорбент может быть использован для глубокой очистки газов алюминиевых заводов от вышеназванных компонентов перед их выбросом в атмосферу. В условиях производства адсорбент будет контактировать с газами в центуриях, в которых адсорбент подают навстречу восходящему потоку газов. Температура газов, поступающих в центурии, составляет 70–100 °С. Как показал эксперимент, дополнительный подогрев газов не требуется. Для более точной оценки эффективности предложенного способа, массы шлама и площади адсорберов, необходимых для очистки газа, поступающего с одного электролизного корпуса, планируется проведение испытаний в производственных условиях.

## Выводы

*Результаты исследования поглощения агрессивных компонентов анодных газов нефелиновым шламом показали перспективность его использования для очистки газов от серы, фтора и монооксида углерода на металлургических предприятиях и тепловых станциях. На алюминиевых заводах для очистки газов нефелиновым шламом может быть использовано уже имеющееся оборудование, предназначенное для адсорбции соединений фтора на глиноземе. Это будет дополнительной*

*ступенью очистки газов перед выбросом их в атмосферу. Эта операция позволит снизить выброс в атмосферу вредных газов в несколько раз. Насыщенный нефелиновый шлам может быть захоронен на существующих шламовых полях. Для развития предложенного экономичного способа газоочистки требуется дальнейшее изучение адсорбционных и каталитических свойств нефелинового шлама и проведение долгосрочных опытных испытаний.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ужин В. А., Буркат В. С., Утков В. А., Самбуров Е. А.** Минимизация негативного воздействия предприятий алюминиевой промышленности на окружающую среду // *Металлург.* 2008. № 11. С. 41–45.
2. **Янченко Н. И., Баранов А. Н.** Управление экологической безопасности производства алюминия на основе распределения компонентов выбросов в атмосферных выпадениях. — Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012.
3. **Баранов А. Н., Янченко Н. И., Гусева Е. А.** Исследование влияния выбросов Байкальского региона на коррозионную стойкость оборудования и сооружений // *Известия вузов. Цветная металлургия.* 2015. № 2.
4. **Куликов Б. П., Сторожев Ю. И.** Пылегазовые выбросы алюминиевых электролизеров с самообжигающимися анодами : монография. — Красноярск : СФУ, 2012. — 268 с.
5. **Grjothheim K., Kvande H., Motzfeldt K., Welch B.** The formation and composition the fluoride emissions from aluminium cells // *Can. Metall. Quart.* 2012. Vol. 11, No. 4. P. 585–599.
6. **Patterson E. C., Hyland M. M., Kielland V., Welch B.** Understanding the effects of the hydrogen content of anodes on hydrogen fluoride emissions from aluminium cells // *Light Metals.* 2001. P. 365–370.
7. **Pat. 2068920 UK.** International Classification B 01 D 53/34. Dry scrubbing fluoride-containing gases / Gary Joseph Gurnon ; Fild 13.02.80 ; Published 19.08/81, No. 8004808.
8. **Pat. 4006066 US.** International Classification C 25 C 3/06. Method and apparatus for the treatment of exhaust-gases in electrolytic of aluminium / Volker Sparwald ; Filed 22.01.75 ; Published 01.02.77, No. 542931.
9. **Погодаев А. М., Сторожев Ю. И., Белянин А. В., Прошкин А. В.** Утилизация шламов заводов по производству алюминия // Седьмой международный конгресс «Цветные металлы и минералы» : сборник тезисов докладов. — Красноярск, 2015. С. 132.
10. **Якимов И. С.** Метод кластерной рентгенофазовой идентификации многофазных материалов // *Контроль. Диагностика.* 2010. № 7. С. 12–17.
11. **Ильин А. А., Ильин А. П., Смирнов Н. Н.** Влияние механической активации на структуру и каталитические свойства оксида железа // *Известия вузов. Химия и химическая технология.* 2005. Вып. 1. С. 41–44.
12. **Смоленцева Е. В., Богданчикова Н. Е.** и др. Влияние модифицирующей добавки железа на физико-химические и каталитические свойства нанесенных золотых цеолитных катализаторов // *Известия ТПУ.* 2005. Т. 308, № 4. С. 93–98.
13. **Кириченко А. Г., Насекан Ю. П., Колесник Н. Ф.** Влияние соединений серы в газе на процесс распада монооксида углерода на красном шламе // *Известия вузов. Цветная металлургия.* 2012. № 5. С. 39–45. **ЦМ**

*Tsvetnye Metally (Non-ferrous metals).* 2015. No. 12. pp. 53–56  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/tsm.2015.12.09>

## ADSORPTIVE AND CATALYTIC PROPERTIES OF NEPHELINE MUD

### Information about authors

A. M. Pogodaev, Assistant Professor of a Chair “Composite Materials and Physics-Chemistry of Metallurgical Processes”<sup>1</sup>  
A. V. Belyanin, Engineer, Director of Ecology and Analytical Control of Production of JSC “RUSAL Krasnoyarsk”<sup>2</sup>  
I. S. Yakimov, Professor of a Chair “Composite Materials and Physics-Chemistry of Metallurgical Processes”<sup>1</sup>, e-mail: [i-s-yakimov@ya.ru](mailto:i-s-yakimov@ya.ru)  
V. I. Kirko, Professor<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

<sup>2</sup> JSC “RUSAL Krasnoyarsk”, Krasnoyarsk, Russia.

<sup>3</sup> Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafiev, Krasnoyarsk, Russia.

### Abstract

Aluminium production is accompanied by formation of ecologically dangerous gases (HF, SO<sub>2</sub>, CO, etc). There is offered the method of purification of waste gases from ecologically dangerous components. This method is concluded in their adsorption on nepheline mud, which is alumina production waste from nepheline ore. Nepheline mud is formed during the leaching from sintered material of sodium alluminate, whereupon it has a highly developed surface, similar to the zeolite surface. Dicalcium silicate (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) is the basis (85%) of nepheline mud. Nepheline mud contains 3.5% of iron oxides, which, together with highly-developed surface, gives it the catalytic properties. Dicalcium silicate can react with flourhydric acid and sulphur acids with formation of fluoride and calcium sulphate. Adsorptive and catalytic abilities of nepheline mud were investigated by anode gas drawing from Söderberg electrolyzers threw the mud layer in the socket



(70 mm diameter) with the rate of 8 l/min. The socket contained 300 g of dry nepheline mud. 21 testings were carried out (2 hours each). The total volume of the gas, drawn through the socket, was 20 260 l. The composition of HF, SO<sub>2</sub> and CO in gases at the input and output of the socket was analyzed.

The following averaged results were obtained according to the carried out testings. The content of HF in gases was reduced from 428 at the input of the socket to 4.9 mg/m<sup>3</sup> at the output of the socket (98.85% of HF were adsorbed by mud). Content of SO<sub>2</sub> was reduced from 730 to 36.3 mg/m<sup>3</sup> (95% was adsorbed). As a result of the catalytic properties of nepheline mud, and the process of oxidation of carbon monoxide, its content in gases was reduced from 5960 to 46.5 mg/m<sup>3</sup> (approximately by 100 times).

The offered method may be used by aluminium plants for anode gas purification and for deep gas purification from harmful impurities before their atmospheric emission.

**Key words:** nepheline mud, gas purification in metallurgy, X-ray phase analysis, adsorptive and catalytic properties, anode gases, Söderberg electrolyzer.

#### References

1. Uzhin V. A., Burkat V. S., Utkov V. A., Samburov E. A. Minimizatsiya negativnogo vozdeystviya predpriyatiy aluminievoy promyshlennosti na okruzhayushchuyu sredu (Minimization of negative impact of aluminium industry enterprises on environment). *Metallurg = Metallurgist*. 2008. No. 11. pp. 41–45.
2. Yanchenko N. I., Baranov A. N. *Upravlenie ekologicheskoy bezopasnosti proizvodstva alyuminiya na osnove raspredeleniya komponentov vybrosov v atmosferykh vypadeniy* (Management of ecological safety of aluminium production on the basis of distribution of components of atmospheric emissions). Irkutsk: Publishing House of Irkutsk State Technical University, 2012.
3. Baranov A. N., Yanchenko N. I., Guseva E. A. Issledovanie vliyaniya vybrosov Baykalskogo regiona na korrozionnyuyu stoykost oborudovaniya i sooruzheniy (Investigation of influence of Baikal region emissions on corrosion resistance of equipment and facilities). *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya = Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2015. No. 2.
4. Kulikov B. P., Storozhev Yu. I. *Pylegazovyye vybrosty alyuminievyykh elektrolizerov s samoobzhigayushchimiyanodami: monografiya* (Dust-gas emissions of aluminium electrolyzers with self-sintered anodes: monograph). Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012. 268 p.

5. Grjothheim K., Kvande H., Motzfeldt K., Welch B. The formation and composition the fluoride emissions from aluminium cells. *Canadian Metallurgical Quarterly*. 2012. Vol. 11, No 4. pp. 585–599.

6. Patterson E. C., Hyland M. M., Kielland V., Welch B. Understanding the effects of the hydrogen content of anodes on hydrogen fluoride emissions from aluminium cells. *Light Metals*. 2001. pp. 365–370.

7. Gary Joseph Gurnon. International Classification B 01 D 53/34. Dry scrubbing fluoride-containing gases. Patent UK, No. 2068920. Fild 13.02.80. Published 19.08/81. No. 8004808.

8. Volker Sparwald International Classification C 25 C 3/06. Method and apparatus for the treatment of exhaust-gases in electrolytic of aluminium. Patent US, No. 4006066. Filed 22.01.75. Published 01.02.77. No. 542931.

9. Pogodaev A. M., Storozhev Yu. I., Belyanin A. V., Proshkin A. V. Utilizatsiya shlamov zavodov po proizvodstvu alyuminiya (Utilization of muds of aluminium production plants). *Sedmoy mezhdunarodnyy kongress "Tsvetnyye metally i mineraly": sbornik tezisov dokladov* (Seventh international congress "Non-ferrous metals and minerals": collection of theses of reports). Krasnoyarsk, 2015. p. 132.

10. Yakimov I. S. Metod klasternoy rentgenofazovoy identifikatsii mnogofaznykh materialov (Method of cluster X-ray phase identification of multi-phase materials). *Kontrol. Diagnostika = Testing. Diagnostics*. 2010. No. 7. pp. 12–17.

11. Ilin A. A., Ilin A. P., Smirnov N. N. Vliyaniye mekhanicheskoy aktivatsii na strukturu i kataliticheskie svoystva oksida zheleza (Influence of mechanical activation on structure and catalytic properties of iron oxide). *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = Proceedings of universities. Chemistry and Chemical Technology*. 2005. No. 1. pp. 41–44.

12. Smolentseva E. V., Bogdanchikova N. E. et al. Vliyaniye modifitsiruyushchey dobavki zheleza na fiziko-khimicheskie i kataliticheskie svoystva nanosenykh zolotykh tselitnykh katalizatorov (Influence of modification addition of iron on physical-chemical and catalytic properties of sprayed gold zeolite catalysts). *Izvestiya Tomskogo Politekhniceskogo Universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2005. Vol. 308, No. 4. pp. 93–98.

13. Kirichenko A. G., Nasekan Yu. P., Kolesnik N. F. Vliyaniye soedineniy sery v gaze na protsess raspada monooksida ugleroda na krasnom shlamе (Influence of sulphur compounds in gas on the process of carbon monoxide decomposition on red mud). *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya = Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2012. No. 5. pp. 39–45.

## Хроника

# Научно-технический прогресс и импортозамещение (итоги заседания научно-технического совета ОАО «Союзцветметавтоматика»)

16 декабря 2015 г. состоялось очередное заседание научно-технического совета ОАО «Союзцветметавтоматика», где были обсуждены результаты выполнения научно-исследовательских работ по трем направлениям.

**Разработка устройства автоматического контроля температуры расплава в электродуговых печах.** Автоматическое непрерывное измерение температуры расплава в электродуговой печи является чрезвычайно актуальной задачей, так как сейчас эти измерения проводят в периодическом режиме через заданные промежутки времени с помощью одноразовых Pt – Rh – Pt-термопар импортного производства. Такой метод измерения затратен и не позволяет объективно оценить режим работы печи.

В ходе работ испытаны термодатчики различного конструктивного исполнения и выбрана конструкция, обеспечивающая непрерывное измерение температуры в течение 20 мин (стандартная термопара работает от 10 до 30 с).

Решено продолжить исследования с целью разработки конструкции термодатчика, которая обеспечила бы устойчивое измерение температуры в течение всего процесса плавки металла.

**Совершенствование конструкции запорных регулирующих устройств типа КСР.** Сегментные запорно-регулирующие клапаны типа КСР, серийно выпускаемые ОАО «Союзцветметавтоматика», хорошо зарекомендовали себя при работе с химически активными вязкими жидкостями, суспензиями (пульпами) и газами. По стойкости в агрессивных и абразивных средах они превосходят импортные аналоги, однако как запорная арматура срабатывают не всегда устойчиво — в закрытом положении иногда происходит протечка регулируемой среды.

В конструкцию устройства введены специальные подпружинивающие элементы, которые обеспечивают надежное перекрытие потока при закрытом положении клапана. Испытания на проливной установке опытных образцов изделий дали положительные результаты.

Решено изготовить несколько промышленных образцов изделий, провести повторные испытания и при положительных результатах запустить серийное производство изделий.

**Создание дозатора непрерывной подачи флотореагентов с контролем их расхода и протока.** Точность и надежность подачи реагентов во флотомашину в соответствии с технологическим регламентом является одним из главных параметров, определяющих эффективность работы флотационных переделов обогатительных фабрик.

Специалисты Союзцветметавтоматики имеют многолетний опыт разработки и внедрения в производство дозаторов флотореагентов различного типа. Сегодня компания серийно выпускает и поставяет заказчикам дозаторы флотореагентов различного типа: ПМР-2-Ф, ПМИ-4, АДИ-1, АДИ-2, ПРИУ-5М.

Научно-техническому совету представлен дозатор принципиально новой конструкции, технические характеристики которого позволят в будущем заменить всю линейку выпускаемых изделий. Лабораторные испытания показали, что его относительная погрешность измерения расхода флотореагента во всем диапазоне не превышает 1,0 %. После обсуждения результатов проведенной работы решено изготовить промышленный образец изделия и провести комплексные испытания на одной из обогатительных фабрик.

ЦМ

Н. Е. Мальцев (ОАО «Союзцветметавтоматика»)