

№9 2024

научно-технический и производственный

ГОРНЫЙ

ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА

Қазақстанның кен журналы



зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан 04.04.2013 г.
Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания 13508-Ж.

Издается с января 2003 г.

Приказом №290 от 26.06.2022 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

В журнале публикуются материалы, отражающие состояние и перспективы развития геологии, горного дела и металлургии не только в нашей стране, но и за рубежом. Журнал освещает проблемы охраны труда и техники безопасности, экономики, подготовки кадров и других вопросов, связанных с горно-металлургическим комплексом. В журнале представлены статьи прикладного характера, результаты фундаментальных исследований, служащие основой для новых технических разработок.

При перепечатке материалов ссылка на Горный журнал Казахстана обязательна. Ответственность за достоверность сведений в публикуемых статьях и рекламных материалах несут авторы и рекламодатели. Мнение редакции не всегда может совпадать с мнением авторов.

Адрес редакции:
050026, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401,
+7 (747) 343-15-02
minmag.kz

Представитель журнала на специализированных мероприятиях – Общество с ограниченной ответственностью «Маркетинг от Тимченко»

Представители журнала:

Республика Узбекистан –
ШЕРЗОД ВАФО-ОГЛЫ КАРИМОВ
karimov20-13@mail.ru

Российская Федерация, Москва –
ИРИНА ЯРОПОЛКОВНА ШВЕЦ
shvetsirina@yandex.ru

Российская Федерация, Сибирский регион –
ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШАПОШНИК
shaposhnikyury@mail.ru

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

Подписной индекс 75807 в каталогах:
АО «Казпочта»,
ТОО «Агентство «Евразия пресс»

Подписано в печать 30.09.2024 г.

Отпечатано:
«Print House Geron»
ул. Сатпаева 30А/3, офис 124
тел: + 7 727 250-47-40,
+ 7 727 398-94-59,
факс: + 7 727 250-47-39

© Горный журнал Казахстана 2003-2024

УЧРЕДИТЕЛЬ И СОБСТВЕННИК
ТОО «Научно-производственное
предприятие «ИНТЕРРИН»



INTERRIN

Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

Т.С. ДОЛИНА, Tatyana.Dolina@interrin.kz

Редакционная коллегия:

Fathi Habashi (Canada), Dr. techn. [Vienna], Dr.h.c. [St. Petersburg], Dr.h.c. [National Tech Univ, Lima], Dr.h.c. [San Marcos Univ, Lima]

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD,
Professor of Mining Engineering

М.Б. Барменшинова, канд. техн. наук, ассоц. профессор

А.А. Бекботаева, PhD, ассоц. профессор

В.А. Белин (Россия), д-р техн. наук, профессор

В.И. Бондаренко (Украина), д-р техн. наук, профессор

Н.С. Буктуков, д-р техн. наук, профессор

А.Е. Воробьев (Россия), д-р техн. наук, профессор

С.Ж. Галиев, д-р техн. наук, профессор

В.Ф. Демин, д-р техн. наук

А.И. Едильбаев, д-р техн. наук

Б.О. Жанибеков (Узбекистан), д-р философии
геол.-мин. наук, доцент

Д.Р. Каплунов (Россия), д-р техн. наук, профессор

Ш.В. Каримов (Узбекистан), PhD

В.Л. Лось, д-р геол.-минерал. наук, профессор

С.К. Молдабаев, д-р техн. наук, профессор

У.Ф. Насиров (Узбекистан), д-р техн. наук, профессор

В.И. Нифадьев (Кыргызстан), д-р техн. наук, профессор

М.Б. Нурпеисова, д-р техн. наук, профессор

Е.Н. Ольшанский, член-корреспондент МАИН

Е.А. Петров (Россия), д-р техн. наук, профессор

Б.Т. Ратов, д-р техн. наук, профессор

К.Б. Рысбеков, канд. техн. наук, профессор

И.Н. Столповских, д-р техн. наук, профессор

П.Г. Тамбиев, канд. техн. наук

Ш.Н. Туробов (Узбекистан), PhD

О.Г. Хайитов (Узбекистан), д-р геол.-минерал. наук,
профессор

Р.А. Хамидов (Узбекистан), PhD

А.Н. Шодиев (Узбекистан), д-р техн. наук

Т.А. Чепуштанова, PhD

® – статья на п

① – информацио

— статья публикуется в автор

3

Колонка главного редактора

5

Здравствуй и с юбилеем тебя, наша любимая Alma-Mater!

8

Горно-металлургический институт им. О.А. Байконурова: прошлое и настоящее

Геотехнология

15

**С.К. Молдабаев, Д.В. Бабен, К.Б. Рысбеков, А.Н. Нурманова*

Оценка влияния тектонических нарушений в донной части карьеров на безопасность извл

Разрушение горных пород

22

**А.А. Орынбай, А.Е. Алибаев, Т.С. Ибырханов*

Рациональные параметры БВР, обеспечивающие наименьшие затраты на добычу и перерабо

Металлургия

31

*Б.С. Баимбетов, Е.Б. Тажиев, *Г.Ж. Молдабаева, А.А. Даулетбакова*

К проблеме переработки отвальных шлаков медеплавильных заводов Казахстана

38

**Т.А. Chepushtanova, S.B. Yulusov, J.M. Yespenova, A.S. Tulegenov*

Development of a process for the production of hard solid nanophers (Fe-Co) from complex black

44

**А.С. Раимбекова, В.И. Капралова, Ш.Н. Кубекова, Л.А. Жусупова*

Исследование возможности переработки техногенных отходов месторождения Жайрем на ра

Обогащение полезных ископаемых

51

*И.Ю. Мотовилов, *М.Б. Барменишинова, Ш.А. Телков, Р.С. Омар*

Изучение вещественного состава и оценка гравитационной обогатимости окисленных

Переработка полезных ископаемых

59

**А.С. Бейсебаева, С.М. Жарылкан, Е.Н. Есжан, С. Азат*

Методы переработки отходов горно-металлургического производства

Геоэкология

66

**Ы. Жакыпбек, А. Айдаркызы, Е.Е. Бегимжанова, Г.Б. Кезембаева*

Теміртау қаласының өнеркәсіптік ластануын қашықтықтан зондтау арқылы бағалау

71

М.Б. Нурпейісова

Асылдар ұшқан, жасындар қонған тұғырымыз бұл

Код МРНТИ 53.37.13

*T.A. Chepushtanova, S.B. Yulusov, J.M. Yespenova, A.S. Tulegenov

Department of «Metallurgical processes, heat engineering and technology of special materials», Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

DEVELOPMENT OF A PROCESS FOR THE PRODUCTION OF HARD SOLID NANOPHERS (Fe-Co) FROM COMPLEX BLACK SLATE SOURCE

Abstract. The paper presents the results of developing a method for producing nanopowder (Fe-Co) in the form of a solid solution by precipitation from vanadium-containing raw materials of the hydrometallurgical plant Balauza Firm LLP. Solutions obtained by leaching black shale ores with an iron content of up to 4-6% to obtain iron-containing powders were studied. X-ray phase analysis has established that the initial iron content of 2 to 6% is sufficient for applying the scheme for extracting iron sulfate and obtaining powders based on it from solutions obtained by leaching black shale ores. By the results of electron microscopy analysis, was established that the size of crystallites in the resulting powders (Fe-Co) is 30-50 nm and that of their agglomerates is 100-200 nm.

Key words: black shale ores, vanadium-containing solutions, leaching, precipitation, iron-cobalt solid solution.

Күрделі қара тақтас шикізатынан қатты ерітімдердің (Fe-Co) наноұнтақтарын алу әдісін әзірлеу

Аңдатпа. Мақалада «Балауса Фирма» ЖШС гидрометаллургиялық зауытының құрамында ванадий бар шикізаттан тұндыру арқылы қатты ерітінді түріндегі наноұнтақ (Fe-Co) алу әдісін әзірлеу нәтижелері берілген. Құрамында темір бар ұнтақтарды алу үшін құрамында темір 4-6%-ға дейінгі қара тақтас кендерін шаймалау арқылы алынған ерітінділер зерттелді. Рентгендік фазалық талдау темір сульфатын алу және оның негізіндегі ұнтақтарды қара тақтас кендерін шаймалау арқылы алынған ерітінділерден алу схемасын қолдану үшін бастапқы темірдің 2-ден 6%-ға дейін жеткілікті екенін анықтады. Электрондық микроскопияның көмегімен алынған ұнтақтардың (Fe-Co) құрамындағы кристаллиттер мөлшері 30-50 нм, ал олардың агломераттары 100-200 нм болатыны анықталды.

Түйінді сөздер: қара тақтас кендері, құрамында ванадий бар ерітінділер, шаймалау, тұндыру, темір-кобальт қатты ерітіндісі.

Разработка способа получения нанопорошков твердых растворов (Fe-Co) из комплексного черносланцевого сырья

Аннотация. В статье приведены результаты разработки способа получения нанопорошка (Fe-Co) в виде твердого раствора методом осаждения из ванадий-содержащего сырья гидрометаллургического завода ТОО «Фирма «Балауса». Исследовались растворы, полученные при выщелачивании черносланцевых руд с содержанием железа до 4-6% для получения железосодержащих порошков. Рентгенофазовым анализом установлено, что исходное содержание железа от 2 до 6% является достаточным для применения схемы извлечения сульфата железа и получения порошков на его основе из растворов, полученных при выщелачивании черносланцевых руд. Методом электронной микроскопии установлено, что размеры кристаллитов в полученных порошках (Fe-Co) составляют 30-50 нм и их агломератов 100-200 нм.

Ключевые слова: черносланцевые руды, ванадийсодержащие растворы, выщелачивание, осаждение, твердый раствор железо-кобальт.

Introduction

Over the past few years, there has been a rapid development of the metal products market around the world. The average annual growth rate of metal products production is about 10-12%. This is mainly due to the development of production in Asian countries, and, above all, in China. Simultaneously with the growth in consumption of rolled steel and other metallurgical products, the demand for special alloy steels and alloying elements, one of which is vanadium, has increased. About 87% of vanadium from total production is used in ferrous metallurgy as an effective alloying additive in the production of steels of various grades. The raw material from which vanadium is extracted is interesting and promising from the point of view of complex processing. The main raw material for the extraction of vanadium in Kazakhstan is black shale ores of complex composition and double resistance. It is promising to obtain iron-containing products from this type of raw material in the form of reduced iron and iron nanostructured powders [1].

One of the main methods of vanadium extraction from black shale ores is sintering [1]. High temperatures activate chemical reactions and convert vanadium into an easily soluble form. The optimum temperature for sintering with soda is about 900-1000 °C and with sodium chloride about 700-800 °C. In industrial applications of the process, the ratio of soda or sodium chloride to ore is an important parameter. The optimum ratio of soda to ore is about 1:1. If the amount of soda or sodium chloride is too high, insoluble compounds may be formed and the efficiency of the process may be reduced [2, 3].

Leaching methods are also widely used for vanadium recovery. Sulfuric acid can be used for vanadium leaching at

high temperatures and long-time intervals. In a study [4] from black shale ores, vanadium recovery in solution was 85%. Scientists are working on improving vanadium leaching technologies using sulfuric acid. One of the new developments is the use of sulfuric acid and hydrogen peroxide [5]. In this experiment, the extraction of vanadium into solution was 92%. The use of sulfuric acid and sodium chloride is also practiced [6], according to the authors' data, because of vanadium leaching the extraction into solution amounted to 90%. In general, the use of concentrated sulfuric acid at high temperatures and longtime intervals can achieve high extraction of vanadium into solution. The technology of heap sulfuric acid leaching of black shale ores allows to extract vanadium from ores with low concentration and obtain a satisfactory degree of extraction. Work [7-9] provides data on the degree of extraction of vanadium under different experimental conditions, for example at a concentration of sulfuric acid 2% extracted about 45% of vanadium. World data confirm the effectiveness of sulfuric acid leaching for the recovery of metals, including vanadium from black shale ores.

One of the most common methods of sorptive extraction of vanadium from sulfate productive leaching solutions of black shale ore is based on the use of anionite [10]. The combination of extractants based on ketones and other extractants was also investigated. It was shown that at optimum values of pH and extraction duration it was possible to extract about 94% of vanadium without significant co-extraction of other metals. However, it is also of interest to obtain by-products of vanadium extraction, such products are the production of iron powder because the solutions from leaching are rich in iron [9, 11].

egenov
tbayev
chstan)

ium-con-
to obtain
sting iron
at the size

гүріндегі
кендерін
икроско-
пталды.

сырья
ванадий-
ных руд с
а от 2 до
шелачни-
30-50 нм

l] from
s 85%.
g tech-
ents is
his ex-
s 92%.
acted
leach-
eneral,
es and
adium
ning of
ith low
action.
of va-
ample,
it 45%
ulfuric
adium,

tion of
f black
mbina-
its was
of pH
it 94%
metals.
adium
wders,
l].

The aim of the research is to obtain nanopowders of iron-cobalt solid solution (*Fe-Co*) from vanadium leaching solutions. Such powders can be used in the production of magnetic carriers, as permanent magnets, in the production of sensors, in medicine and biology (carriers of drugs for delivery to the desired target organ using a magnetic field, magnetic resonance imaging, etc.) and for magnetochemical separation of radioactive and hazardous waste from nuclear power.

Materials and methods of research

Starting materials

The objects of the study were representative samples of vanadium-containing raw materials of the hydrometallurgical plant «Firma «Balausa» LLP, which were analyzed by chemical, X-ray phase, X-ray spectral, mineralogical and thermogravimetric methods of analysis.

Chemical analysis showed that polymetallic vanadium bearing ores contain %: V_2O_5 – 0,89; MoO_3 – 0,036; U_3O_8 – 0,018; Rare-earth elements – 0,069; TiO_2 – 0,250; WO_3 – 0,036; Al_2O_3 – 3,79; Fe_2O_3 – 2,07; K_2O – 1,18; CaO – 0,383; SiO_2 – 72,54; Na_2O – 0,0732; P_2O_5 – 1,150, C – 17,891.

The initial raw material for production of iron-containing powders will be solutions obtained during leaching of black shale ores with iron content up to 6%. The composition of black shale ore leaching solutions is as follows, g/dm³: Fe^{2+} – 1,6; Fe^{3+} – 6,4; Al – 9,05; V_{gen} – 2,78; Mo – 0,044; U – 0,019; Rare-earth elements – 0,075; K – 2,4, all elements are in solution as sulfates.

Research Methods

Iron sulfate was isolated from the solution by the method of chemical precipitation, then iron sulfate was prepared in the form of $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. This compound is well soluble in water. To obtain a solid solution of nanosized powder (*Fe-Co*), the following is carried out: a solution of salts of iron sulfate

heptahydrate and cobalt chloride hexahydrate was prepared, then heated and precipitated with alkali metals in the form of iron and cobalt hydroxides with continuous stirring, during stirring precipitation was carried out by introducing 22-28 g of dry sodium hydroxide into the solution of metal salts, after which 22-42 ml of a solution of 67 wt. % hydrazine hydrate and cobalt hydroxide was added to the solution. % hydrazine hydrate and incubated for 3-18 minutes. Iron sulfate and cobalt chloride hydrates were used as iron and cobalt salts. Before precipitation, the solution of iron and cobalt salts was heated to 82-92 °C. Solutions of iron and cobalt salts were prepared in the following ratio, wt. %: iron 72-33, cobalt 32-72. The technique offers the possibility of obtaining nanosized monophase powder of *Fe-Co* solid solution by reduction of metal salts from aqueous solutions under certain conditions. This technique is fast and hardware uncomplicated without additional input of equipment in the technological process, while highly energy-efficient process. Electron-microscopic studies were carried out on the analyzer JEOL ISM – 25S 3, + 70-100 microns, magnification x1500.

X-ray phase and X-ray diffraction analysis was performed on (DRON-3 machine, Broker Advance D8).

Thermal analysis was performed on an analyzer combined with a mass spectrometer NETZSCH STA 449 PC/PG QMS.

Results and their discussion

The method for producing the powder (*Fe-Co*) included preparing a stock solution containing 2.9873 g of iron sulfate, 5.6550 g of $CoCl_2$ hexahydrate and 75 mL of H_2O . This was followed by stirring with a mechanical stirrer (30-35 rpm). The prepared solution of *Fe* and *Co* salts was heated in a desiccator to 80 °C. Then 25 g of dry sodium hydroxide was added under constant stirring to precipitate *Fe* and *Co* metal hydroxides. After stirring for 10-15 sec, 25 mL of hydrazine hydrate solution was added to the mixture, having previously

Preparation results and dispersibility of iron-cobalt nanoscale powder

Нановлашмәді темір-кобальт ұнтағын өндіру және дисперстілігінің нәтижелері

Результаты получения и дисперсность наноразмерного порошка железо-кобальт

Table 1

Кесте 1

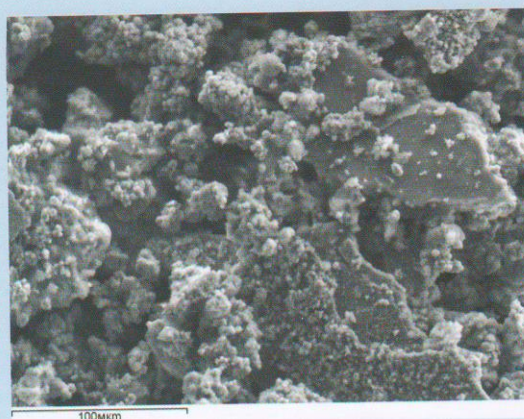
Таблица 1

№	Composition of nano-powder, mass. %	Starting salts, g		Reagent 1 H_2O , ml	Reagent 2 $NaOH$, g	Reagent 3 N_2H_4 , ml	T Recovery, °C	Dispersibility, nm
		m1 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	m2 $CoCl_2 \cdot 6H_2O$					
1	30Fe-70Co	2,9988	5,6451	75	25	25	80	30-50
2	30Fe-70Co	2,9988	5,6451	90	25	50	80	30-50
3	40Fe-60Co	3,9885	4,8752	90	20	20	80	30-50
4	40Fe-60Co	3,9885	4,8752	60	25	40	80	30-50
5	50Fe-50Co	4,9785	4,0296	80	25	20	80	30-50
6	50Fe-50Co	4,9785	4,0296	60	20	40	80	30-50
7	60Fe-40Co	5,9823	3,2136	85	15	15	80	30-50
8	60Fe-40Co	5,9823	3,213	80	25	20	80	30-50
9	70Fe-30Co	6,9703	2,4163	50	35	25	90	30-50
10	70Fe-30Co	6,9703	2,4163	85	20	15	90	30-50

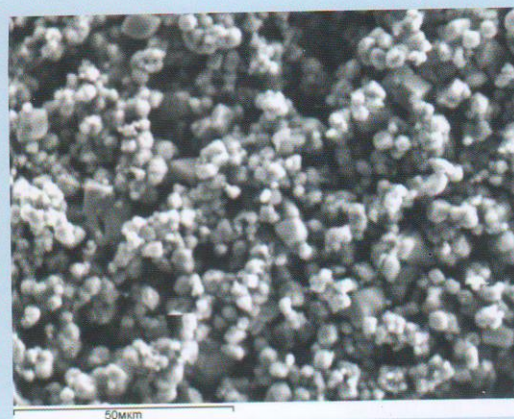
stopped heating the reaction mixture. Under constant stirring for 10 min throughout the volume, the formation of iron-cobalt nanodispersed particles was recorded. After settling the obtained mixture was filtered. The resulting black precipitate was washed with distilled water and then isopropyl alcohol to remove the volatile by-products of the reaction. Next, the nanosized powder (*Fe-Co*) was dried under low vacuum (10-2 mmHg) at 40-50 degrees Celsius for one hour. The storage of powders was carried out in a bouquet without access to air, which was placed in an exicator with P_2O_5 . It was found that in the volume of the mixture uniformly formed nanodispersed particles of *Fe* and *Co*, the formation of which was record-

ed visually. Such uniform formation of nanoparticles in the volume of the obtained mixture stimulates the reduction of dispersibility of *Fe-Co* powders. The results of the studies of the proposed method for obtaining solid solutions of nanosized iron-cobalt powder in the concentration range *Fe(100-x)Co(x)*, where x is from 30 to 70%, are introduced in Table 1.

The sizes of nanoparticles were determined by electron microscopic spectroscopy (JEOL JSM 6390 scanning electron microscope). It was determined that in the whole range of compositions of *Fe-Co* nanosized powders the particle size vary very slightly: the size of crystallites 30-50 nm and their agglomerates 100-200 nm, Figure 1.



a) 100 μm



b) 50 μm

Figure 1. Results of electron microscopic spectroscopy of *Fe-Co* powder.

Сурет 1. *Fe-Co* ұнтағының электронды микроскопиялық спектроскопиясының нәтижелері.

Рис. 1. Результаты электронно-микроскопической спектроскопии порошка *Fe-Co*.

Conclusions

The method of obtaining nanopowder (*Fe-Co*) in the form of solid solution by precipitation method from vanadium-containing raw materials – vanadium hydrometallurgical solutions has been developed. The method of iron sulfate precipitation and the sequence of operations for obtaining iron sulfate heptahydrate and cobalt chloride hexahydrate to obtain iron-cobalt nanopowder in the form of solid solution were developed. By the method of electron microscopy it was found that the size of crystallites in the obtained powders (*Fe-Co*) is 30-50 nm and their agglomerates 100-200 nm.

By the method of X-ray phase and X-ray structural analysis it is established that in the mixture of cobalt content 35-65 wt. % *Co* (iron 65-35 wt. % *Fe*) compositions are monophase, the

structure contains metallic phases. By the method of thermal analysis combined with QMS mass spectrometer it was established that the *Fe-Co* powder is a solid solution, the decomposition mechanism of which corresponds to the decomposition of the structure of similar compounds.

Acknowledgement

The research was carried out with the financial support of the Committee of Science of MES RK Grant PCF IR BR21881939 «Development of resource-saving energy-generating technologies for mining and metallurgical complex at creation of innovative engineering center», section 6 «Development of combined technology for processing of vanadium-containing raw materials to produce concentrates of rare metals».

REFERENCES

1. Kenzhaliyev B.K. Black shale ore of Big Karatau is a raw material source of rare and rare earth elements. / B.K. Kenzhaliyev, T.Yu. Surkova, M.N. Azlan, S.B. Yulusov, B.M. Sukurov, D.M. Yessimova. // Hydrometallurgy. 2021. Vol. 205 (in English)
2. Xinran Zhu. Vanadium extraction from V-bearing shale using oxidation roasting and acid leaching. / Xinran Zhu, Zhenya Zhou, Jianping Jin, Yanjun Li, Yuexin Han. // Minerals Engineering. 2023. Vol. 192 (in English)

3. Qiushi Zheng. Enhancing effect of vanadium releasing efficiently from lattice in black shale by thermal activation. / Qiushi Zheng, Yimin Zhang, Nannan Xue. // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2022. Vol. 651 (in English)
4. Faure L. Synthesis of $\text{TiO}(\text{OH})_2$ precursor for low temperature sintering: A chemical and microstructural study. / L. Faure, F. Molinari, M. Carfentan, M. Maglione, M. Josse. // Ceramics International. 2023. Vol. 49. P. 28337-28343 (in English)
5. Balaji J. Sol-gel based hybrid silane coatings for enhanced corrosion protection of copper in aqueous sodium chloride. / Balaji J., Roh S.H., Edison T.N., J. I., Jung H.Y., Sethuraman M.G. // Journal of Molecular Liquids. 2020 (in English)
6. Baklanova I.V. Prekursornaya tekhnologiya proizvodstva belykh i tsvetnykh lyuminoforov na osnove $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:Ln}$ ($\text{Ln} = \text{Eu}^{3+}$, Tb^{3+} ili $\text{Eu}^{3+}/\text{Tb}^{3+}$). / Baklanova I.V., Krasil'nikov V.N., Tyutyunnik A. P., Baklanova Yu. V. // Zhurnal khimii tverdogo tela. 2020. S. 292 [Baklanova I.V. Precursor technology for the production of white and color phosphors based on $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:Ln}$ ($\text{Ln} = \text{Eu}^{3+}$, Tb^{3+} or $\text{Eu}^{3+}/\text{Tb}^{3+}$). / Baklanova I.V., Krasil'nikov V.N., Tyutyunnik A.P., Baklanova Y.V. // Journal of Solid State Chemistry. 2020] (in Russian)
7. Hoque M.A. Fabrication and comparative study of magnetic Fe and $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles dispersed hybrid polymer (PVA + Chitosan) novel nanocomposite film. / Hoque M.A., Ahmed M.R., Rahman G.T., Rahman M.T., Islam M.A., Khan M.A., Hossain M.K. // Results in Physics. 2018. 10. P. 434-443 (in English)
8. Nadar A. Nanostructured Fe_2O_3 dispersed on SiO_2 as catalyst for high temperature sulfuric acid decomposition. Structural and morphological modifications on catalytic use and relevance of $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ interactions. / Nadar A., Banerjee A.M., Pai M.R., Meena S.S., Pai R.V., Tewari R., Bharadwaj S.R. // Applied Catalysis B: Environmental. 2017. 217. P. 154-168 (in English)
9. Nishitsuji J. Magnetic Properties of Fe-Mn-Ni Powders Prepared by Hydrogen Reduction of Wet-Synthesized Ferrite Nanopowders. / Nishitsuji J., Okazaki R., Abe S., Akamatsu. // IEEE Transactions on Magnetics. 2023. Vol. 59 (11) (in English)
10. Komekova N.M. Avtoklavnoe vyshchelachivanie vanadiya iz chernykh slantsev. / N.M. Komekova, V.A. Kozlov, K.M. Smirnov i dr. // Metallurg. 2017. 60. S. 1186-1190 [Komekova N.M. Autoclave Leaching of Vanadium from Black Shale. / Komekova N.M., Kozlov V.A., Smirnov K.M. et al. // Metallurgist. 2017. 60. P. 1186-1190] (in Russian)
11. Motovilov Y. Oxide powders production from iron chloride. / Motovilov Y., Luganov V.A., Mishra B., Chepushtanova T.A. // CIS Iron and Steel Review. 2018. P. 28-32 (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кенжаалиев Б.Қ. Үлкен Қаратаудың қара тақтатаас кені – сирек және сирек жер элементтерінің шикізат көзі. / Б.Қ. Кенжаалиев, Т.Ю. Суркова, М.Н. Азлан, С.Б. Юлусов, Б.М. Сукуров, Д.М. Есімова. // Гидрометаллургия. 2021. Т. 205 (орыс тілінде)
2. Синрань Жу. Тотығумен күйдіру және қышқылмен шаймалау арқылы V-тәрізді тақтатаастардан ванадийді алу. / Синрань Жу, Женья Чжоу, Цзяньпин Цзинь, Янцзюн Лу, Юэксин Хан. // Minerals Engineering. 2023. Т. 192 (ағылшын тілінде)
3. Цюши Чжэн. Термиялық активтендіру арқылы қара тақтатаастағы тордан тиімді түрде ванадий бөлінуінің әсерін күшейту. / Цюши Чжэн, Имин Чжэн, Нанан Сюэ. // Коллоидтар және беттер А: Физикохимиялық және инженерлік аспектілер. 2022. Т. 651 (ағылшын тілінде)
4. Фор Л. Төмен температурада агрегациялау үшін $\text{TiO}(\text{OH})_2$ прекурсорының синтезі: Химиялық және микроқұрылымдық зерттеу. / Л. Фор, Ф. Молилари, М. Карфантан, М. Маглионе, М. Хоссе. // Ceramics International. 2023. Шығ. 49. Б. 28337-28343 (ағылшын тілінде)
5. Баладжи Дж. Сулы натрий хлоридіндегі мысты тоттанудан қорғауды жақсарту үшін золь-гель негізіндегі гибридіті силан жабындары. / Дж. Баладжи, С.Х. Рох, Т.Н. Эдисон, И. Дж., Х.И. Юнг, М.Г. Сетураман. // Молекулалық сұйықтықтар журналы. 2020 (ағылшын тілінде)
6. Бакланова И.В. Al_2O_3 негізіндегі ақ және түсті люминофорларды алудың прекурсорлық технологиясы: Ln ($\text{Ln} = \text{Eu}^{3+}$, Tb^{3+} немесе $\text{Eu}^{3+}/\text{Tb}^{3+}$). / И.В. Бакланова, В.Н. Красильников, А.П. Тютюник, Ю.В. Бакланова. // Қатты дене химиясының журналы. 2020 (орыс тілінде)
7. Хоке М.А. Магниттік Fe және $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ нанобөлшектерінің дисперсті гибридіті полимерін (PVA + хитозан) жаңа нанокөпозиттік пленканы жасау және салыстырмалы зерттеу. / М.А. Хоке, М.Р. Ахмед, Г.Т. Рахман, М.Т. Рахман, М.А. Ислам, М.А. Хан, М.К. Хоссейн. // Физикадағы нәтижелер. 2018. 10. Б. 434-443 (ағылшын тілінде)
8. Надар А. Күкірт қышқылының жоғары температурада ыдырауы үшін катализатор ретінде SiO_2 -де дисперсті нанокұрылымды $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ әрекеттесулерінің каталитикалық қолданылуына қатысты құрылымдық және морфологиялық модификациялар. / Надар А., Банерджи А.М., Пай М.Р., Мина С.С., Пай Р.В., Тевари Р., Бхарадвадж С.Р. // 2017. 217. Б. 154-168 (ағылшын тілінде)
9. Нишицудзи Дж. Ылғалды синтезделген феррит нанобөлшектерінің сутегінің төмендеуімен дайындалған Fe-Mn-Ni ұнтақтарының магниттік қасиеттері. / Нишицудзи Дж., Оказаки Р., Абе С., Акамацу // IEEE Transactions on Magnetics. 2023. Vol. 59 (11) (ағылшын тілінде)

10. Коменкова Н.М. Қара тақтатастағы ванадийді автоклавпен сілтілеу. / Коменкова Н.М., Козлов В.А., Смирнов К.М. және т.б. // *Металлург.* 2017. 60. Б. 1186-1190 (орыс тілінде)
11. Мотовилов Ю. Темір хлоридінен оксидті ұнтақтарды өндіру. / Ю. Мотовилов, В.А. Луганов, Б. Мишра, Т.А. Чепуштанова. // *ЦИС айрон және стил шолуы.* 2018. 15. Б. 28-32 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кенжалиев Б.К. Черносланцевая руда Большого Каратау – сырьевая база редких и редкоземельных элементов. / Кенжалиев Б.К., Суркова Т.Ю., Азлан М.Н., Юлусов Б.М., Сукуров Д.М. // *Гидрометаллургия.* 2021. Т. 205 (на русском языке)
2. Синьран Чжу. Извлечение ванадия из V-содержащих сланцев с использованием окислительного обжига и кислотного выщелачивания. / Синьран Чжу, Жень Чжоу, Цзяньпин Цзинь, Яньцзюнь Ли, Юэсинь Хань. // *Minerals Engineering.* 2023. Т. 192 (на английском языке)
3. Цюши Чжэн. Усиление эффекта эффективного высвобождения ванадия из решетки черного сланца путем термической активации. / Цюши Чжэн, Иминь Чжан, Наньнань Сюэ. // *Коллоиды и поверхности А: Физико-химические и инженерные аспекты.* 2022. Т. 651 (на английском языке)
4. Фор Л. Синтез предшественника $TiO(OH)_2$ для низкотемпературного спекания: химическое и микроструктурное исследование. / Л. Фор, Ф. Молинари, М. Карфантан, М. Маглионе, М. Жоссе. // *Ceramics International.* 2023. Вып. 49. С. 28337-28343 (на английском языке)
5. Баладжи Дж. Золь-гель гибридные силановые покрытия для усиленной защиты меди от коррозии в водном растворе хлорида натрия. / Дж. Баладжи, С.Х. Ро, Т.Н. Эдисон, И. Дж., Х.Ю. Юнг, М.Г. Сетураман. // *Журнал молекулярных жидкостей.* 2020 (на английском языке)
6. Бакланова И.В. Препараторная технология производства белых и цветных люминофоров на основе $Al_2O_3:Ln$ ($Ln = Eu^{3+}, Tb^{3+}$ или Eu^{3+}/Tb^{3+}). / Бакланова И.В., Красильников В.Н., Тютюнник А. П., Бакланова Ю.В. // *Журнал химии твердого тела.* 2020. С. 292 (на русском языке)
7. Хок М.А. Изготовление и сравнительное исследование магнитной наночастицы Fe и $\alpha-Fe_2O_3$, дисперсной гибридной полимерной (ПВС + хитозан) новой нанокомпозитной пленки. / М.А. Хок, М.Р. Ахмед, Г.Т. Рахман, М.Т. Рахман, М.А. Ислам, М.А. Хан, М.К. Хоссейн. // *Результаты по физике.* 2018. 10. С. 434-443 (на английском языке)
8. Надар А. Наноструктурированный Fe_2O_3 , диспергированный на SiO_2 , в качестве катализатора высокотемпературного разложения серной кислоты. Структурные и морфологические модификации каталитического использования и значимость взаимодействий $Fe_2O_3-SiO_2$. / А. Надар, А.М. Банерджи, М.Р. Пай, С.С. Мина, Р.В. Пай, Р. Тевари, С.Р. Бхарадвадж. // *Прикладной катализ Экология.* 2017. 217. С. 154-168 (на английском языке)
9. Нисицудзи Дж., Оказаки Р., Абэ С., Акамацу. Магнитные свойства порошков $Fe-Mn-Ni$, полученных водородным восстановлением мокро-синтезированных ферритовых нанопорошков. // *IEEE Transactions on Magnetics.* 2023. Т. 59 (11). (на английском языке)
10. Коменкова Н.М. Автоклавное выщелачивание ванадия из черных сланцев. / Н.М. Коменкова, В.А. Козлов, К.М. Смирнов и др. // *Металлург.* 2017. 60. С. 1186-1190 (на русском языке)
11. Мотовилов Ю. Оксидные порошки производят из хлорида железа. / Ю. Мотовилов, В.А. Луганов, Б. Мишра, Т.А. Чепуштанова. // *Обзор металлургии СНГ.* 2018. С. 28-32 (на русском языке)

Information about the authors:

Чепуштанова Т.А., PhD, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), t.chepushtanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6526-0044>

Юлусов С., PhD, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), s.ulusov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-8044-4186>

Еспенова Ж.М., doctoral student PhD, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), zh.yespenova@satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0002-6597-8408>

Түлегенов А.С., master's student, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), a.tulegenov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6194-3518>

Авторлар туралы мәліметтер:

Чепуштанова Т.А., PhD, қауымдастырылған профессор Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Юлусов С., PhD, доцент, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Еспенова Ж.М., докторант PhD, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Түлегенов А.С., магистрант, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Чепуштанова Т.А., доктор PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Юлусов С., доктор PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Еспенова Ж.М., докторант PhD, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Түлегенов А.С., магистрант, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)