

ISSN 2518-1491 (Online),  
ISSN 2224-5286 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай,  
катализ және электрохимия институты» АҚ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
АО «Институт топлива, катализа и  
электрохимии им. Д.В. Сокольского»

## NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis  
and electrochemistry»

**SERIES**  
**CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

**6 (444)**

**NOVEMBER – DECEMBER 2020**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

---

---

*NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of chemistry and technologies scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.*

*Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы" ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.*

*НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия химии и технологий» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.*

Б а с р е д а к т о р ы  
х.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі  
**М.Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Ағабеков В.Е.** проф., академик (Белорус)  
**Башов А.Б.** проф., академик (Қазақстан)  
**Бүркітбаев М.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Волков С.В.** проф., академик (Украина)  
**Воротынцев М.А.** проф., академик (Ресей)  
**Газалиев А.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Джусипбеков У.Ж.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Жармағамбетова А.К.** проф. (Қазақстан), бас ред. орынбасары  
**Жоробекова Ш.Ж.** проф., академик (Қырғыстан)  
**Иткулова Ш.С.** проф. (Қазақстан)  
**Манташян А.А.** проф., академик (Армения)  
**Пралиев К.Д.** проф., академик (Қазақстан)  
**Рахимов К.Д.** проф., академик (Қазақстан)  
**Рудик В.** проф., академик (Молдова)  
**Стрельцов Е.** проф. (Белорус)  
**Тельтаев Б.Б.** проф., академик (Қазақстан)  
**Тодераш И.** проф., академик (Молдова)  
**Тулеуов Б.И.** проф., академик (Қазақстан)  
**Фазылов С.Д.** проф., академик (Қазақстан)  
**Фарзалиев В.** проф., академик (Әзірбайжан)  
**Халиков Д.Х.** проф., академик (Тәжікстан)  
**Шайхутдинов Е.М.** проф., академик (Қазақстан)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ66VPY00025419 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *химия және жаңа материалдар технологиясы саласындағы басым ғылыми зерттеулерді жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219, 220 бөл.; тел.: 272-13-19; 272-13-18,  
<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2020

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев к-сі, 142, «Д. В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты» АҚ, каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

Типографияның мекенжайы: «NurNaz GRACE», Алматы қ., Рысқұлов көш., 103.

Главный редактор  
д.х.н., проф., академик НАН РК  
**М.Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

**Агабеков В.Е.** проф., академик (Беларусь)  
**Баешов А.Б.** проф., академик (Казахстан)  
**Буркитбаев М.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Волков С.В.** проф., академик (Украина)  
**Воротынцев М.А.** проф., академик (Россия)  
**Газалиев А.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Джусипбеков У.Ж.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Жармагамбетова А.К.** проф. (Казахстан), зам. гл. ред.  
**Жоробекова Ш.Ж.** проф., академик (Кыргызстан)  
**Иткулова Ш.С.** проф. (Казахстан)  
**Мангашян А.А.** проф., академик (Армения)  
**Пралиев К.Д.** проф., академик (Казахстан)  
**Рахимов К.Д.** проф., академик (Казахстан)  
**Рудик В.** проф., академик (Молдова)  
**Стрельцов Е.** проф. (Беларусь)  
**Тельтаев Б.Б.** проф., академик (Казахстан)  
**Тодераш И.** проф., академик (Молдова)  
**Тулёуов Б.И.** проф., академик (Казахстан)  
**Фазылов С.Д.** проф., академик (Казахстан)  
**Фарзалиев В.** проф., академик (Азербайджан)  
**Халиков Д.Х.** проф., академик (Таджикистан)  
**Шайхутдинов Е.М.** проф., академик (Казахстан)

«Известия НАН РК. Серия химии и технологий».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ66VPY00025419, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *публикация приоритетных научных исследований в области химии и технологий новых материалов.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219, 220; тел. 272-13-19; 272-13-18,

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2020

---

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: [orgcat@nursat.kz](mailto:orgcat@nursat.kz)

Адрес типографии: «NurNaz GRACE», г. Алматы, ул. Рыскулова, 103.

Editor in chief

doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK

**M.Zh. Zhurinov**

Editorial board:

**Agabekov V.Ye.** prof., academician (Belarus)  
**Bayeshov A.B.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Burkitbayev M.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Volkov S.V.** prof., academician (Ukraine)  
**Vorotyntsev M.A.** prof., academician (Russia)  
**Gazaliyev A.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Dzhusipbekov U.Zh.** prof., corr. member (Kazakhstan)  
**Zharmagambetova A.K.** prof. (Kazakhstan), deputy editor in chief  
**Zhorobekova Sh.Zh.** prof., academician (Kyrgyzstan)  
**Itkulova Sh.S.** prof. (Kazakhstan)  
**Mantashyan A.A.** prof., academician (Armenia)  
**Praliyev K.D.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Rakhimov K.D.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Rudik V.** prof., academician (Moldova)  
**Streltsov Ye.** prof. (Belarus)  
**Teltaev B.B.** prof., akademik (Kazakhstan)  
**Toderash I.** prof., academician (Moldova)  
**Tuleuov B.I.** prof., akademik (Kazakhstan)  
**Fazylov S.D.** prof., akademik (Kazakhstan)  
**Farzaliyev V.** prof., academician (Azerbaijan)  
**Khalikov D.Kh.** prof., academician (Tadjikistan)  
**Shaihutdinov E.M.** prof., akademik (Kazakhstan)

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.**

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ66VPY00025419**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *publication of priority research in the field of chemistry and technology of new materials*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19; 272-13-18,

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2020

---

Editorial address: JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis and electrochemistry», 142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22, e-mail: [orgcat@nursat.kz](mailto:orgcat@nursat.kz)

Address of printing house: «NurNaz GRACE», 103, Ryskulov str, Almaty.

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.105>

Volume 6, Number 444 (2020), 111 – 118

UDC 502.174.1

T.S. Bazhirov<sup>1</sup>, V.S. Protsenko<sup>2</sup>, N.S. Bazhirov<sup>1</sup>,  
M.S. Dauletiyarov<sup>1</sup>, B.Ye. Serikbayev<sup>1</sup>, K.N. Bazhirova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine.

E-mail: tynlybek.bazhirov@gmail.com

## PROSPECTS FOR THE INTEGRATED USE OF SLAG WASTES FROM FERROCHROME PRODUCTION FOR HEAT-RESISTANT MATERIALS

**Abstract.** The research results of physicochemical and physicotchnical properties of slag wastes from ferrochrome production as raw materials for heat-resistant materials are presented. Chemical and mineralogical composition of slag from high-carbon ferrochrome production and slag from low-carbon ferrochrome production, as well as their constituent main crystalline phases, represented by magnesium and calcium aluminosilicates of complex composition, have been determined by physicochemical research methods. According to X-ray phase analysis, the slag from the high-carbon ferrochrome production is represented mainly by forsterite  $Mg_2SiO_4$ , spinel  $MgAl_2O_4$ , partially amorphous glass phase and admixture of calcium orthosilicate  $Ca_2SiO_4$ . In the slag from the low-carbon ferrochrome production, the main crystalline phase is calcium orthosilicate  $\gamma-Ca_2SiO_4$ , as well as magnesium orthosilicate forsterite  $Mg_2SiO_4$ . The research results of specific surface area, average particle size determination and sieve analysis have shown that the slag from the low-carbon ferrochrome production is a finely dispersed gray powder with the following characteristics: the specific surface area – 295  $m^2/kg$ , the average particle size – 6.8  $\mu m$ , the true density – 3.01  $g/cm^3$ , the bulk density – 739  $kg/m^3$ . The research of the physicochemical and physicotchnical properties has established that in terms of chemical, mineralogical composition and refractoriness indices, the slags from the high-carbon ferrochrome and low-carbon ferrochrome productions can be valuable raw materials for heat-resistant materials.

**Key words:** slag wastes from high-carbon and low-carbon ferrochrome production, refractoriness, specific surface area, calcium and magnesium orthosilicates, heat-resistant materials.

**Introduction.** There is no domestic production of fireclay refractory materials and products in mass demand in Kazakhstan [1]. The need for heat-resistant materials and products is fully covered only by imports from the CIS countries, primarily from Russia and Ukraine.

At the same time, there are various types of technogenic mineral raw materials in the republic, which, with appropriate processing using special technologies and component compositions, can serve as components for production of high-grade heat-resistant materials that are not inferior in their basic properties to traditional fireclay heat-resistant materials.

In Kazakhstan, slag dumps of Aktobe Ferroalloy Plant of TNC Kazchrome JSC have accumulated more than 15 million tons of slag wastes, of which 5 million tons are slags from production of high-carbon ferrochrome, and about 8-9 million tons are dusty dispersed slag from production of low-carbon ferrochrome.

Costs for disposal of slag wastes and maintenance of slag dumps are a big economic and environmental problem facing the enterprise. In the processing of slags from the production of ferrochrome, the problem of ecological safety is no less important, since chromium is recognized as a dangerous carcinogen [2, 3].

A distinctive feature of the slags from the production of ferrochrome is their refractory and heat-resistant properties [4, 5].

The research of the physicochemical properties and mineralogical composition of slag wastes from ferroalloy production made it possible to draw a conclusion about the possibility and expediency of their use as components of heat-resistant binders and composite heat-resistant materials.

Considering refractory properties, in [6] it is proposed to use high-carbon ferrochrome slag as a component of refractory materials. At the same time, it is proposed to use finely ground slag from production of high-carbon ferrochrome and bag dust of gas cleaning from furnaces for high-carbon ferrochrome production as raw materials for refractory brick manufacture.

At present, the slag of the current output high-carbon ferrochrome production is processed in the slag processing shop, where the slag is crushed and residual metallic ferrochrome is extracted from it, and the crushed slag is sold as crushed stone for road construction [7].

The low-carbon ferrochrome production annually produces over 200,000 tons of slag, which is sent to the dumps of the enterprise.

According to the chemical and mineralogical characteristics, slags from the production of low-carbon ferrochrome [8, 9, 10], characterized by a tendency to self-decomposition and transformation into fine powder [11], are among the wastes of ferroalloy production.

Analysis of published works showed a small amount of research and proposed directions for the use of the slag from the low-carbon ferrochrome production in foundries for self-hardening mixture manufacture, as a raw material for cement production, in road construction as a mineral filler for asphalt concrete preparation [12, 13].

Currently, development of effective types of composite binders from natural and technogenic mineral raw materials is one of the urgent scientific, technical, economic and environmental problems [14-17].

**Methods.** *The chemical analysis* of the studied samples of the slags from the high-carbon ferrochrome and low-carbon ferrochrome production was carried out according to the procedure adopted for inorganic materials [18].

*The X-ray phase analysis (XRA)* of the slags was carried out using DRON-3 diffractometer with  $\text{CuK}_\alpha$  radiation with a nickel filter. The speed of movement of the goniometer counter was 8 deg/min. The tube voltage – 40 kV, the tube current – 20 mA.

*The surface morphology research* of the slag samples was carried out using JSM-6490LV scanning electron microscope (JEOL, Japan), with which the elemental chemical composition was also determined by the energy dispersive method.

*The granulometric composition and the bulk density* of the crushed and dispersed slags were determined according to the method used in industry [19].

*The specific surface area and the average particle size* of the slags were determined by the method of air permeability of dispersed materials using PSKh-K computer multifunctional device manufactured by Ruspribor LLC (Russia).

*The sieve analysis* of the slag was carried out using “Analysette 3” vibrating sieving device from FRITSCH (Germany).

*The refractoriness* of the slags was determined according to the standard procedure for refractory raw materials [20].

**Results and discussion.** The results of determining the granulometric composition and the bulk weight of the slags from the ferrochrome production according to the standard method are presented in table 1.

Table 1 – The granulometric composition and the bulk weight of the slags from the ferrochrome production

Indicators	Content of fractions in the ferrochrome slag, wt. %	
	high-carbon	low-carbon
Granulometric composition:	31.9	4.1
fraction of more than 5 mm	31.1	23.4
fraction of 3-5 mm	4.5	18.5
fraction of 2-3 mm	2.5	17.5
fraction of 1-3 mm	4.5	17.5
fraction of 0.5-1 mm	25.5	19.0
fraction of less than 0.5 mm	12.7	9.5
including fraction of 0.088-0.5 mm		
fraction of less than 0.088 mm	12.7	9.5
Bulk weight, g/cm <sup>3</sup>	1.92	1.58

The average chemical composition and refractoriness indices of the slags from the high-carbon ferrochrome and low-carbon ferrochrome production are presented in Table 2.

Table 2 – The chemical composition and refractoriness of the slags from the ferrochrome production

Type of slag from the ferrochrome production	Content of oxides, %						Refractoriness, °C
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	
Slag from the high-carbon ferrochrome production	5.1	43.1	17.8	31.2	2.4	1.1	1630
Slag from the low-carbon ferrochrome production	5.2	13.4	7.1	29.3	45.2	1.1	1360

The results of determining the mineralogical composition of the slags from the ferrochrome production by the method of X-ray phase analysis are presented in Table 3.

Table 3 – The mineralogical composition of the slags from the ferrochrome production

Type of slag from the ferrochrome production	Phase composition of minerals according to the X-ray phase analysis
Slag from the high-carbon ferrochrome production	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (main phase) (Mg, Fe) (Al, Cr) <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> – admixture
Slag from the low-carbon ferrochrome production	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (main phase) Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (Mg, Fe) (Al, Cr) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

According to the X-ray phase analysis, presented in figure 1, the mineralogical composition of the slag from the high-carbon ferrochrome production is represented by the following main minerals: forsterite Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (d=3.89, 3.48, 2.77, 2.27, 2.16, 1.75, 1.49 Å), spinel MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (d=4.81, 4.25, 2.47, 1.58 Å), partially amorphous glass phase and impurity of calcium orthosilicate Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>.

In this case, in the system MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub>, the formation of spinel – forsterite solid solutions is possible [21].

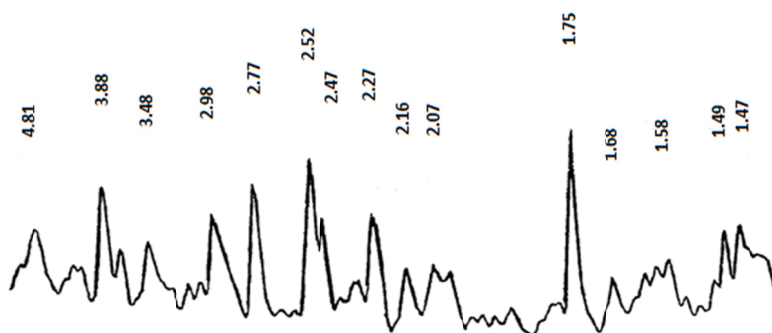


Figure 1 – Diffractogram of the slag from the high-carbon ferrochrome



The diffractogram of the slag from the low-carbon ferrochrome production, shown in figure 2, confirms the phases of calcium orthosilicate  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  (basic phase) and forsterite  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ .

The X-ray research of the slag from the low-carbon ferrochrome production showed that the main crystalline phase in it is calcium orthosilicate  $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ , and there is also  $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  phase, and magnesia silicates in the form of magnesium orthosilicate – forsterite  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ .

The diffractogram of the slag (figure 2) shows the most intensive diffraction reflections with  $d = 3.81$ ; 2.79; 2.74; 1.88; 1.62 Å correspond to  $\gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  phase.

The diffraction maxima with  $d = 2.71$ ; 2.66, 1.72 Å, obviously, are due to the presence of  $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  in the slag. The presence of this crystalline phase in the slag indicates that the modification transformations  $\alpha \rightarrow \alpha'_H \rightarrow \alpha'_L \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$  did not occur completely, and a small amount of  $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  is present in the system.

The presence of forsterite  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  is indicated by the reflections with  $d = 3.81$ ; 2.74; 2.66 Å.

The research results of specific surface area, average particle size determination and sieve analysis have shown that the slag from the low-carbon ferrochrome production is a finely dispersed gray powder with the following characteristics: the specific surface area – 2955  $\text{cm}^2/\text{g}$ , the average particle size – 6.8  $\mu\text{m}$ , the true density – 3.01  $\text{g}/\text{cm}^3$ , the bulk density – 739  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

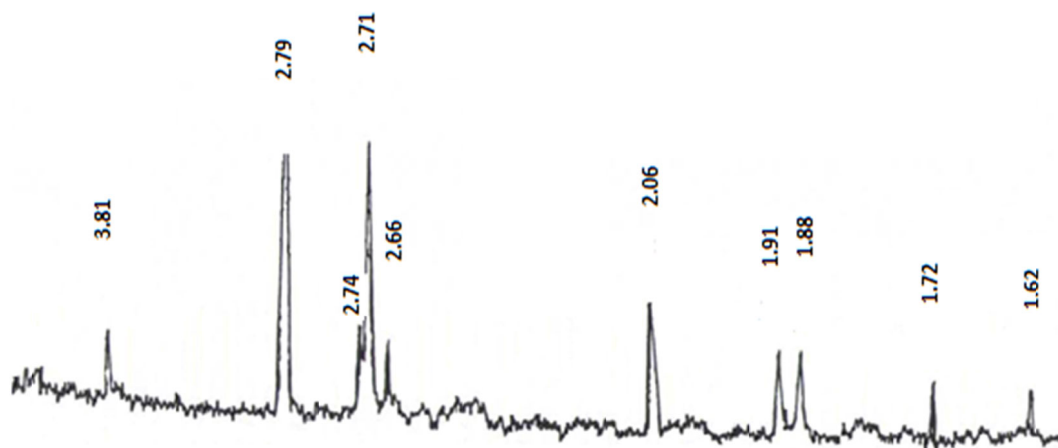


Figure 2 – Diffractogram of the slag from the low-carbon ferrochrome

The results of studying the surface morphology of the slag sample are shown in figure 3.3. The surface of the studied slag sample has a polydisperse character, with both dusty particles and larger particles in the form of detrital and fragmentary material present.

The research of the elemental chemical composition by the spectral analysis showed that the slag composition is characterized by the content of Ca, Si, Mg, Cr, Al elements, which corresponds to the mineralogical composition of the slag.

By the chemical composition, the slag can be referred to the main slags with the lime factor  $M_O = 2.16$ , determined by the percentage ratio  $(\% \text{CaO} + \% \text{MgO}) / (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3)$ , with the low modulus of activity  $M_a = 0.18$ , determined by the percentage ratio of the content of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  in the slag.

The results of the physicochemical research have shown that minerals of the slags from the high-carbon and low-carbon ferrochrome production, such as spinel  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , as well as calcium orthosilicate  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , and magnesium orthosilicate forsterite  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  have high refractoriness. So, the mineral larnite  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  is the most refractory slag mineral, it melts congruently at 2130°C, the mineral spinel  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  melts at 2105°C, and refractoriness of the mineral forsterite  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  reaches 1900°C [22, 23].

Due to these specific properties, the slag from the low-carbon ferrochrome production can also be used as a raw component of heat-resistant binders used in heat-resistant materials' production.

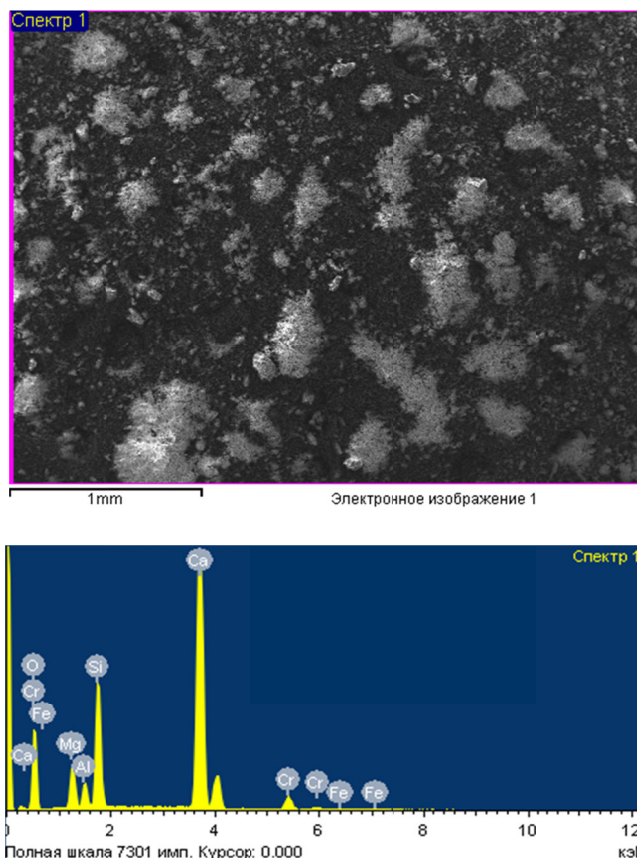


Figure 3 – The surface morphology and the elemental composition when scanning the slag sample of low-carbon ferrochrome production

**Conclusion.** As a result of the research carried out on the physicochemical and physicochemical properties, it has been established that, in terms of chemical, mineralogical composition and refractoriness indices, the slags from the high-carbon ferrochrome and low-carbon ferrochrome production can be valuable raw materials for heat-resistant materials.

At the same time, the crushed slag from the high-carbon ferrochrome production, due to its chemical-mineralogical composition and refractoriness, is recommended as a filler for heat-resistant materials.

The dusty self-disintegrating dispersed slag from the low-carbon ferrochrome production is a ready-made component for heat-resistant binders, since when using this slag, the stage of its fine grinding can be excluded.

Т.С. Бажиров<sup>1</sup>, В.С. Проценко<sup>2</sup>, М.С. Даулетияров<sup>1</sup>,  
Н.С. Бажиров<sup>1</sup>, Б.Е. Серикбаев<sup>1</sup>, К.Н. Бажирова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан;

<sup>2</sup>Украина мемлекеттік химия-технологиялық университеті, Днепр, Украина

### ФЕРРОХРОМ ӨНДІРІСІНІҢ ШЛАК ҚАЛДЫҒЫН ЫСТЫҚҚА ТӨЗІМДІ МАТЕРИАЛДАРҒА КЕШЕНДІ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІГІ

**Аннотация.** Қазақстанда жаппай сұранысқа ие шамотты ыстыққа төзімді материалдар мен өнім өндірісі дамымаған. Ыстыққа төзімді материалдар мен бұйымдарға қажеттілік ТМД елдерінен, ең алдымен Ресей мен Украинадан импортпен толықтай қамтамасыз етіледі.

Сонымен бірге, республикада техногендік минералды шикізаттың алуан түрлері бар, олар арнайы технологиялар мен компоненттік құрамды қолдану барысында өңдеу арқылы негізгі қасиеттері жағынан дәстүрлі шамотты ыстыққа төзімді материалдардан кем түспейтін жоғары сапалы ыстыққа төзімді материал өндіруге қызмет етеді.

Қазақстанда «ТҰК Қазхром» АҚ Ақтөбе ферроқорытпа зауытының шлак үйіндісінде 15 миллион тоннадан астам шлак қалдықтары жинаалған, оның 5 миллион тоннадан астамы – жоғары көміртекті феррохром өндіріс шлағы, ал шамамен 8-9 миллион тоннасы – аз көміртекті феррохром өндірісінің шаң тәрізді ұнтақ шлағы. Шлак қалдығын орналастыруға және сақтауға байланысты шығын кәсіпорынның маңызды экономикалық және экологиялық мәселесі болып есептеледі.

Ферроқорытпа өндірісіндегі шлак қалдығының физико-химиялық қасиеттері мен минералогиялық құрамын зерттеу оның ыстыққа төзімді байланыстырғыш мен композитті ыстыққа төзімді материал компоненттері ретінде қолдану мүмкіндігі мен тиімділігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді.

Қазіргі кезде жоғары көміртекті феррохром өндіріс шлактары қайта өңдеу цехында өңделеді, онда шлақты ұсақтап, одан феррохром металының қалдықтары алынады, ал ұсақталған шлак жол құрылысы үшін қиыршық тас ретінде сағылады. Нашар көміртекті феррохром өндіріс шлактары пайдаланылмайды, ал төмен көміртекті феррохром өндірісі жыл сайын кәсіпорын үйіндісіне жіберілетін 200 000 тоннадан астам шлак шығарады.

Қазіргі уақытта техногендік минералды шикізаттан ыстыққа төзімді құрама байланыстырғыштардың тиімді түрін жасау – маңызды ғылыми-техникалық, экономикалық және экологиялық мәселелердің бірі.

Мақалада феррохром өндіріс шлак қалдықтарының ыстыққа төзімді материалдардың шикі заттар ретінде физика-химиялық және физика-техникалық зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Физика-химиялық зерттеу әдістерімен көміртегі жоғары және көміртегі төмен феррохром өндіріс шлағының химия-минералогиялық құрамы және күрделі құрамды магний және кальций алюмосиликатынан тұратын негізгі кристалды фазалар анықталған. Рентгенофазалық талдау бойынша көміртегі жоғары феррохром өндіріс шлағын форстерит  $Mg_2SiO_4$ , шпинель  $MgAl_2O_4$ , жартылай аморфты шыны фаза және қоспалы кальций ортосиликаты  $Ca_2SiO_4$  құрайды. Көміртегі төмен феррохром өндірісінің шлак құрамында негізгі кристалды фазалар кальций ортосиликаты  $Ca_2SiO_4$  және магний ортосиликаты – форстерит  $Mg_2SiO_4$ . Үлестік бетін, бөлшектің орташа мөлшерінің анықтау, електі талдау зерттеу нәтижелері көміртегі аз феррохром өндірісінің шлак қалдығынына мынадай сипаттама беруге болады: үлестік беті  $295 \text{ см}^2/\text{кг}$ , орташа бөлшек мөлшері  $6,8 \text{ мкм}$ , шынайы тығыздығы  $3,01 \text{ г/см}^3$ , үйілген тығыздығы  $739 \text{ кг/м}^3$ , сұр түсті ұнтақ болып саналатынын көрсетті.

Химиялық құрамы бойынша шлақтың  $(\% \text{ CaO} + \% \text{ MgO}) / (\% \text{ SiO}_2 + \% \text{ Al}_2\text{O}_3)$  пайыздық арақатынасы негізінде анықталатын негізді модулі  $M_o = 2,16$  негізгі шлак ретінде, ал құрамындағы  $Al_2O_3$  және  $SiO_2$  мөлшерінің қатынасы бойынша анықталатын модулі  $M_a = 0,18$  арқылы белсенділігі әлсіз шлактарға жіктеуге болады. Жүргізілген физика-химиялық және физика-техникалық қасиетін зерттеу бойынша көміртегі жоғары және көміртегі төмен феррохром өндіріс шлактары химиялық және минералогиялық құрамы әрі отқа төзімділік көрсеткіштері бойынша ыстыққа төзімді материалдардың толыққанды шикі заттар ретінде қолдануы мүмкін.

**Түйін сөздер:** көміртегі жоғары және көміртегі төмен феррохром өндірісінің шлак қалдықтары, отқа төзімділік, үлестік бет, кальций және магний ортосиликаты, ыстыққа төзімді материалдар.

**Т.С. Бажиров<sup>1</sup>, В.С.Проценко<sup>2</sup>, М.С. Даулетияров<sup>1</sup>,  
Н.С. Бажиров<sup>1</sup>, Б.Е. Серикбаев<sup>1</sup>, К.Н. Бажирова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

<sup>2</sup>Украинский государственный химико-технологический университет, Днепро, Украина

## **ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ФЕРРОХРОМОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЖАРОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аннотация.** В Казахстане отсутствует отечественное производство имеющих массовый спрос шамотных жаростойких материалов и изделий. Потребность в жаростойких материалах и изделиях полностью покрывается за счет импорта из стран СНГ, в первую очередь из России и Украины.

В то же время в республике имеются различные виды техногенного минерального сырья, которые при соответствующей переработке по специальным технологиям и компонентным составам, могут послужить компонентами для производства полноценных жаростойких материалов, не уступающих по своим основным свойствам традиционным шамотным жаростойким материалам.

В Казахстане в шлаковых отвалах Актюбинского завода ферросплавов АО ТНК «Казхром» накоплено более 15 млн тонн шлаковых отходов, из них более 5 млн тонн составляют шлаки производства высокоуглеродистого феррохрома, а около 8-9 млн тонн составляет пылевидный дисперсный шлак производства низкоуглеродистого феррохрома.

Затраты на размещение шлаковых отходов и содержание шлаковых отвалов являются большой экономической и экологической проблемой, стоящей перед предприятием.

Изучение физико-химических свойств и минералогического состава шлаковых отходов ферросплавного производства позволило сделать вывод о возможности и целесообразности их использования в качестве компонентов жаростойких вяжущих и композиционных жаростойких материалов.

В настоящее время шлак производства высокоуглеродистого феррохрома текущего выхода перерабатывается в цехе по переработке шлаков, где шлак дробится и из него извлекается остаточный металлический феррохром, а дробленый шлак продается как щебень для строительства автодорог [3].

Шлак производства низкоуглеродистого феррохрома практически не используется, при производстве низкоуглеродистого феррохрома ежегодно образуется более 200 000 тонн шлака, направляемого в отвалы предприятия.

В настоящее время разработка эффективных видов композиционных жаростойких вяжущих материалов из техногенного минерального сырья является одной из актуальных научно-технических, экономических и экологических проблем.

В статье приведены результаты исследований физико-химических и физико-технических свойств шлаковых отходов феррохромового производства как сырьевых компонентов для жаростойких материалов. Методами физико-химических исследований определены химико-минералогический состав шлака производства высокоуглеродистого феррохрома и шлака производства низкоуглеродистого феррохрома, а также составляющие их основные кристаллические фазы, представленные магниевыми и кальциевыми алюмосиликатами сложного состава. По данным рентгенофазового анализа, шлак производства высокоуглеродистого феррохрома представлен, в основном, форстеритом  $Mg_2SiO_4$ , шпинелью  $MgAl_2O_4$ , частично аморфной стеклофазой и примесью ортосиликата кальция  $Ca_2SiO_4$ . В шлаке производства низкоуглеродистого феррохрома основной кристаллической фазой является ортосиликат кальция  $\gamma-Ca_2SiO_4$ , а также ортосиликат магния форстерит  $Mg_2SiO_4$ . Результаты исследований удельной поверхности, определения среднего размера частиц и результаты ситового анализа показали, что шлак производства низкоуглеродистого феррохрома представляет собой тонкодисперсный порошок серого цвета со следующими характеристиками: удельная поверхность  $295 \text{ м}^2/\text{кг}$ , средний размер частиц  $6,8 \text{ мкм}$ , истинная плотность  $- 3,01 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность  $- 739 \text{ кг/м}^3$ .

По химическому составу шлак можно отнести к основным шлакам с модулем основности  $M_O = 2,16$ , определяемым по процентному соотношению  $(\%CaO + \%MgO) / (\%SiO_2 + \%Al_2O_3)$ , с низким модулем активности  $M_a = 0,18$ , определяемым по процентному соотношению содержания в шлаке  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ .

В результате проведенных исследований физико-химических и физико-технических свойств установлено, что по химическому, минералогическому составу и показателям огнеупорности шлаки производства высокоуглеродистого феррохрома и низкоуглеродистого феррохрома могут быть полноценными сырьевыми ресурсами для жаростойких материалов.

**Ключевые слова:** шлаковые отходы производства высокоуглеродистого и низкоуглеродистого феррохрома, огнеупорность, удельная поверхность, ортосиликаты кальция и магния, жаростойкие материалы.

#### Information about authors:

Bazhirov Tynlybek Saifutdinovich, Candidate of Technical Sciences, Head of Department, M.Auezov South Kazakhstan State University, e-mail: tynlybek.bazhirov@gmail.com. Orcid: 0000-0002-3496-3601

Protsenko Vyacheslav Sergeevich, Doctor of Chemical Sciences, Professor of Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine, vprotsenko7@gmail.com. Orcid: 0000-0002-5959-0426

Bazhirov Nurlybek Saifutdinovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher of Department of Technology of Cement, Ceramic and Glass, M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan, prof.nsb@mail.ru. Orcid: 0000-0002-8005-5823

Dauletiyarov Mukhtar Srazhevich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Technology of Cement, Ceramic and Glass, M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan, muhtar-66@mail.ru. Orcid: 0000-0002-9578-8202

Serikbayev Bolatzhan Yermahanovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Technology of Cement, Ceramic and Glass, M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan, latpo\_12@mail.ru. Orcid: 0000-0003-3130-8801

Bazhirova Kamshat Nurlybekovna, Doctor Ph.D., Senior Researcher of Department of Technology of Cement, Ceramic and Glass, M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan, kamshat1987@inbox.ru. Orcid: 0000-0001-9998-5396

#### REFERENCES

[1] Abdrakhmanov E.A. State and trends in the production and use of refractory materials. Bulletin of the Almaty University of Energy and Communications. 2012. No. 1 (16). P. 19-24. (In Russian).

[2] Milander K., De Frutos A., Hedberg Y. Bioaccessibility of ferro-chromium and ferro-silicon- chromium particles compared to pure metals and stainless steel – aspects of human exposure. Proceedings of the Twelfth International Ferroalloys Congress. (June 6-9) 2010. Helsinki. Finland. Vol. 1. P. 43-52. (in Eng.).

- [3] Beukes J.P., Dawson N.F., van Zyl P.G. Theoretical and practical aspects of Cr (VI) in South African ferrochrome industry. Proceedings of the Twelfth International Ferroalloys Congress. (June 6-9) 2010. Helsinki. Finland. Vol. 1. P. 53-62. (in Eng.).
- [4] Zhuchkov V.I., Zayakin O.V., Dosekenov M.S. The use of industrial wastes from the production of ferrochrome. Proceedings of "Modern resource-saving technologies". Odessa. I.I. Mechnikov ONU. 2012. P. 110-114. (In Russian).
- [5] Kashcheev I.D., Zemlyanoy K.G., Dosekenov M.S. The main characteristics of slags and dust generated during the production of ferrochrome. Proceedings of the Intern. congress "Fundamental principles of technogenic wastes processing technologies". Yekaterinburg. UPPC. 2012. P. 101-104. (In Russian).
- [6] Izbembetov D.D., Zuparov N.S., Ismailov N.E. Utilization of high-carbon ferrochrome slags. Theory and technology of metallurgical production. 2016. No 1(18). Pp. 63-66. (In Russian).
- [7] Saspugaeva G.E., Akshabakova Zh.E., Satova K.M. Characteristic of production wastes of the Aktobe ferroalloys plant. *International scientific journal Science and World*. 2015. No 4 (20). Vol. III.- Pp.71-73. (In Russian).
- [8] Taranina T.I., Kabanova L.Ya., Korolev A.S. Development of technology for processing of stabilized low-carbon ferrochrome slag of JSC CHEMK taking into account its mineralogical and petrographic features. Mineralogical and technological assessment of mineral deposits and problems of mineral disclosure. Petrozavodsk. KarRC RAS. 2011. P. 86-90. (In Russian).
- [9] Kaliakparov A.G., Suslov A.V., Bilyalov K.S. Problems of formation and use of waste ferroalloy production in the Russian Federation. Proceedings of the Intern. conf. "Problems and prospects of development of mining and metallurgical industry: theory and practice". Karaganda. HMI. 2013. P. 321-322. (In Russian).
- [10] Dosekenov M.S., Samuratov E.K., Nurgali N.Z. Analysis of formation and disposal of industrial wastes from the production of ferrochrome. Mater. of the XV Intern. conf. "Modern problems of steel electrometallurgy". Chelyabinsk. SUSU. 2013. Part 2. P. 168-172. (In Russian).
- [11] Akberdin A.A., Kim A.S., Ilmaz O.Y. Boron in ferroalloy production. Proceedings of the XIII INFACON. Almaty. 2013. Vol. 1, P. 325-333. (In Russian).
- [12] Kozhamuratov R.U., Safarov R.Z., Shomanova Zh.K. Recycling of ferroalloy production. Materials of the international scientific conference «Global science and innovations 2017». Bursa: Eurasian Center of Innovative Development «DARA», 2017. - P. 207-213. (in Eng.).
- [13] Akuov A.M., Tolymbekov M.Zh., Izbembetov Zh.Zh. Modern technology of smelting ferroalloys with the disposal of waste slag. Proceedings of the KarSTU. 2007. No 3. P. 48-50. (In Russian).
- [14] Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov T.S., Serikbayev B.E., Bazhirova K.N. Research bauxite sludge as the raw components in technology of composite cementing materials. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technisal Sienses. 2018. No 427. Vol. 1. P. 93-98. (in Eng.). ISSN 2224-5227 <https://doi.org/10.32014/2018.2518-1483.9>.
- [15] Bazhirov T.S., Protsenko V.S., Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Serikbayev B.Ye., Bazhirova K.N. Physicochemical investigations of vermiculite – microporous component for heat-resistant materials. News of the Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technologies. 2019. No 5(437). P.136-142. (in Eng.). ISSN 2224-5286 <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1491.65>.
- [16] Bazhirov T.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov N.S., Serikbaev B.E., Bazhirova K.N. Studies of physical and chemical properties of activated phosphoric slag. *Vopr. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. No 6. P. 57-62. (in Eng.)
- [17] Bazhirov T.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov N.S., Serikbaev B.E., Bazhirova K.N. Physical and chemical studies of slag of production of low-carbon ferrochrome - component of heat-resistant binder material. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2020. V. 63. No 6. Pp. 58-64. (in Eng.). <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20206306.6135>.
- [18] Petrukhin O.M. Workshop on physical and chemical methods of analysis. Moscow: Khimiya. 1987. 245 p. (In Russian).
- [19] Kouzov P.A. Fundamentals of the analysis of the disperse composition of industrial dusts and grinded materials. L.: Khimiya. 1987. 263 p. (In Russian).
- [20] GOST R 53788-2010. Refractories and refractory raw materials. Methods for determining refractoriness. Moscow: Standartinform. 2010. 16 p. (In Russian).
- [21] Kashcheev I.D., Strellov K.K., Mamykin P.S. Chemical technology of refractories. Moscow : Intermet Inzhiniring. 2007. 752 p. (In Russian).
- [22] Akat'eva L.V., Gladun V.D., and Khol'kin A.I. Use of Extradants in the Synthesis of Calcium Silicates and Calcium Silicate-Based Materials. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2011. Vol. 45. No 5. P. 702-712.
- [23] Khoroshavin L.B. Forsterite  $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ . Moscow : Teplotekhnika. 2004. 368 p.

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации  
в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)

Редакторы: *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, А. Ахметова*  
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 03.12. 2020.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
9,1 п.л. Тираж 300. Заказ б.