

УДК 666.1.022.1

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-4-152-162>

## Физико-химическая активация кварцевого сырья гидроксидом натрия в соотношении эвтектического состава в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$

Р. В. Лавров<sup>1</sup>✉, Н. В. Кувардин<sup>1</sup>, Ш. Нарматов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: [kvarcinat@mail.ru](mailto:kvarcinat@mail.ru)

### Резюме

**Целью** настоящей работы являлось продолжение исследований по активации кварцевого сырья с использованием гидроксидов щелочных металлов. В настоящей работе приведены теоретическое обоснование и практическое подтверждение физико-химической активации кварцевого сырья гидроксидом натрия с учетом эвтектических соотношений в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ .

**Методы.** В качестве источника кварцевого сырья выбран кварцевый стекольный песок ВС-030-В; в качестве натрийсодержащего сырья – чешуйчатый гидроксид натрия марки ТР. Для научного обоснования использовалась диаграмма фазовых состояний  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  Бережного. Для изучения фазового состава активированного кварцевого песка использовался рентгенофазовый анализ, для изучения частицы продукта активации кварцевого песка и гидроксида натрия – растровая электронная микроскопия. Для подтверждения эффективности разработанного способа проводились сравнительные варки натриевого стекловидного силиката по предлагаемому способу и ранее известным.

**Результаты.** Разработан способ активации кварцевого сырья гидроксидом натрия для получения стекловидных натриевых силикатов с использованием смеси двух продуктов активации, для получения одного из которых берутся части кварцевого сырья и гидроксида натрия, взятые в эвтектическом соотношении, а для получения другого продукта активации – остаток кварцевого сырья и расчетное минимальное количество гидроксида натрия, необходимого для получения оболочки на кварцевом зерне.

**Заключение.** На основании результатов сравнительной экспериментальной варки таблетированных шихт для силикат-глыбы с использованием разработанного способа активации кварцевого сырья и с использованием смеси кварцевого песка и карбоната натрия экспериментально подтверждена эффективность разработанного способа, выраженная в снижении температуры варки. Результаты исследования были оформлены в виде патента Российской Федерации № 2714415 «Способ подготовки шихты для щелочно-силикатного стекла».

**Ключевые слова:** кварцевый песок; гидроксид натрия; физико-химическая активация; силикат-глыба; стекловидные щелочные силикаты.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Лавров Р. В., Кувардин Н. В., Нарматов Ш., 2023

**Для цитирования:** Лавров Р. В., Кувардин Н. В., Нарматов Ш. Физико-химическая активация кварцевого сырья гидроксидом натрия в соотношении эвтектического состава в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 4. С. 151–162. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-4-151-162>.

Поступила в редакцию 08.09.2023

Подписана в печать 27.11.2023

Опубликована 25.12.2023

## Physical and Chemical Activation of Quartz Raw Materials with Sodium Hydroxide in the Ratio of the Eutectic Composition in the $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ System

Roman V. Lavrov<sup>1</sup>✉, Nikolai V. Kuvardin<sup>1</sup>, Sherzod Narmatov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: kvarcinat@mail.ru

### Abstract

**The purpose** of this work was to continue research on the activation of quartz raw materials using alkali metal hydroxides. This paper presents a theoretical justification and practical confirmation of the physical and chemical activation of quartz raw materials by sodium hydroxide, taking into account the eutectic ratios in the  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  system.

**Methods.** Quartz glass sand VS-030-B was chosen as a source of quartz raw materials; as a sodium-containing raw material - flake sodium hydroxide brand TR. For the scientific basis, the phase diagram of  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  of Berezhnny was used. To study the phase composition of activated quartz sand, X-ray phase analysis was used; to study a particle of the activation product of quartz sand and sodium hydroxide, scanning electron microscopy was used. To confirm the effectiveness of the developed method, comparative pulping of sodium vitreous silicate was carried out according to the proposed method and previously known ones.

**Results.** A method has been developed for activating quartz raw materials with sodium hydroxide to obtain vitreous sodium silicates using a mixture of two activation products, to obtain one of which parts of quartz raw materials and sodium hydroxide are taken in an eutectic ratio, and to obtain another activation product, the remainder of quartz raw materials and the calculated minimum the amount of sodium hydroxide required to obtain a shell on a quartz grain.

**Conclusion.** Based on the results of comparative experimental cooking of tableted mixtures for silicate lumps using the developed method for activating quartz raw materials and using a mixture of quartz sand and sodium carbonate, the efficiency of the developed method, expressed in reducing the cooking temperature, is experimentally affected. The results of the study were issued in the form of a patent of the Russian Federation No. 2714415 "Method of preparing a charge for alkaline silicate glass".

**Keywords:** quartz sand; sodium hydroxide; physical and chemical activation; silicate block; vitreous alkaline silicates.

**Conflict of interest:** The authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Lavrov R. V., Kuvardin N. V., Narmatov Sh. Physical and Chemical Activation of Quartz Raw Materials with Sodium Hydroxide in the Ratio of the Eutectic Composition in the  $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  System. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies.* 2023; 13(4): 152–162. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-4-152-162>

Received 08.09.2023

Accepted 27.11.2023

Published 25.12.2023

\*\*\*

## Введение

Кварцсодержащее сырье является наиболее тугоплавким и массовым компонентом в составе шихт силикатных стекол. Температура плавления кристаллов диоксида кремния достигает более 1700°C. Содержание SiO<sub>2</sub> в шихтах наиболее распространенных составов щелочно-силикатных стекол составляет 60–80 мас. % [1–6].

Для увеличения реакционной способности кварцевого сырья проводят измельчение сырья, а также совместный помол кварцсодержащего сырья и щелочесодержащих компонентов стекольной шихты, что улучшает условия осуществления твердофазовых реакций в шихте при ее нагреве и расплаве стекломассы [7; 8].

К недостаткам механоактивации можно отнести достаточно большие значения энергии измельчения в связи с твердостью частиц кварца (7 по шкале Мооса), а также возможное загрязнение аппаратным Fe, используемым в оборудовании помола или измельчения [9–12].

Перспективным методом активации кварцевого сырья является физико-химическая активация с использованием гидроксидов щелочеземельных металлов [13].

В процессе одностадийного, сравнительно быстрого (1–3 мин) взаимодействия в температурном диапазоне от 325–600°C кварцевого материала и гидроксида натрия образуется рассыпчатый, хорошо классифицируемый продукт, частица которого представляет кварцевое зерно с водорастворимой оболочкой из мета- и дисиликата натрия и остаточного количества непрореагировавшего NaOH [14].

Использование продукта активации позволяет снизить температуру варки натрийкальцийсодержащих стекол на 100–150°C, ускорить процессы осветления стекломассы, исключить из состава

шихты осветляющие добавки, сместить ионное равновесие в расплаве и стекле Fe(II) ↔ Fe(III) влево, что способствует ИК-прозрачности расплава в области максимальной температуры варки и большому светопропусканию экспериментальных образцов тарного стекла в оптическом диапазоне по сравнению с образцами на кварцевом песке и кальцинированной соде [15–20].

## Материалы и методы

Анализ химических составов наиболее распространенных видов щелочесиликатных стекол показал, что массовое соотношение оксидов Na<sub>2</sub>O и SiO<sub>2</sub> относится к полю, обогащенному оксидом кремния с содержанием Na<sub>2</sub>O менее 20% (рис. 1), при котором возникновение жидкой фазы возможно в интервале температур от 1150–1350°C.

Исходя из диаграммы Бережного для системы Na<sub>2</sub>O – SiO<sub>2</sub> активацию кварцсодержащего материала в виде кварцевого стекольного песка гидроксидом натрия проводили в массовом соотношении: Na<sub>2</sub>O – 26%; SiO<sub>2</sub> – 74%, соответствующем легкоплавкой эвтектике.

При данном соотношении возможно активировать большую часть кварцсодержащего материала из общего количества, определяемого химическим составом стекла.

Кварцсодержащий компонент стекольной шихты и гидроксид натрия, используемый в качестве натрийсодержащего компонента, делили на исходные смеси для получения ССМ, соотношение весовых частей в одной из которых выражается как, в.ч.:



и соответствует эвтектическому составу в оксидной системе Na<sub>2</sub>O – SiO<sub>2</sub>, а соотношение массовых частей в другой смеси выражается как, в.ч.:



(ч.д.а) по ГОСТ 4328-77. Нагрев реакционных смесей осуществлялся в муфельной печи с электрическими нагревателями. Продукты синтеза получали при  $T = 325^{\circ}\text{C}$  с выдержкой при указанной  $T$  в течение 1 мин. Рецепт шихты на 100 в.ч. стекла, в.ч.: песок кварцевый – 79,46; гидроксид натрия – 27,30. Потери при стеклообразовании 6,78%.

Продукт синтеза кварцевого песка и каустика в эвтектическом соотношении будет содержать 57,88 в.ч. кварцевого песка, в свободном (не активированном) виде останется 21,58 в.ч. кварцевого песка.

Количество NaOH, необходимое для активации 21,58 в.ч. кварцевого песка согласно (3), равно 0,22 в.ч.

В соответствии с (2) рецепты шихт для ССМ:

– шихта А, соответствующая эвтектическому составу, в.ч.: гидроксид натрия – 27,08; кварцевый песок – 57,41;

– шихта Б – для активации остаточной части кварцевого песка, в.ч.: гидроксид натрия – 0,22; кварцевый песок – 22,06.

Сравнительный рентгенофазовый анализ кварцевого песка ВС-030-В (рис. 2), термообработанных образцов шихты на основе кварцевого песка и кальцинированной соды (рис. 3) и шихты на основе гидроксида натрия и каустика, подготовленного по экспериментальному способу (рис. 4), показал, что в отличие от образцов, представленных на рисунках 2, 3, фазовый состав образца на рисунке 4 представлен основными фазами в виде аморфной и кристаллической низкотемпературного  $\beta$ -кварца и силиката натрия.

Отмечается присутствие соединения, характерного для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Интенсивность пиков, характерных для присутствия низкотемпературной формы кварца в образце шихты, подготовленной в соответствии с изобретением, имела меньшие значения, а форма пиков – более «размыта», чем в образце (см. рис. 3), что указывает на вероятное изменение структуры кварца, способствующее разрыву связей кремнекислородного каркаса при меньших энергетических затратах.

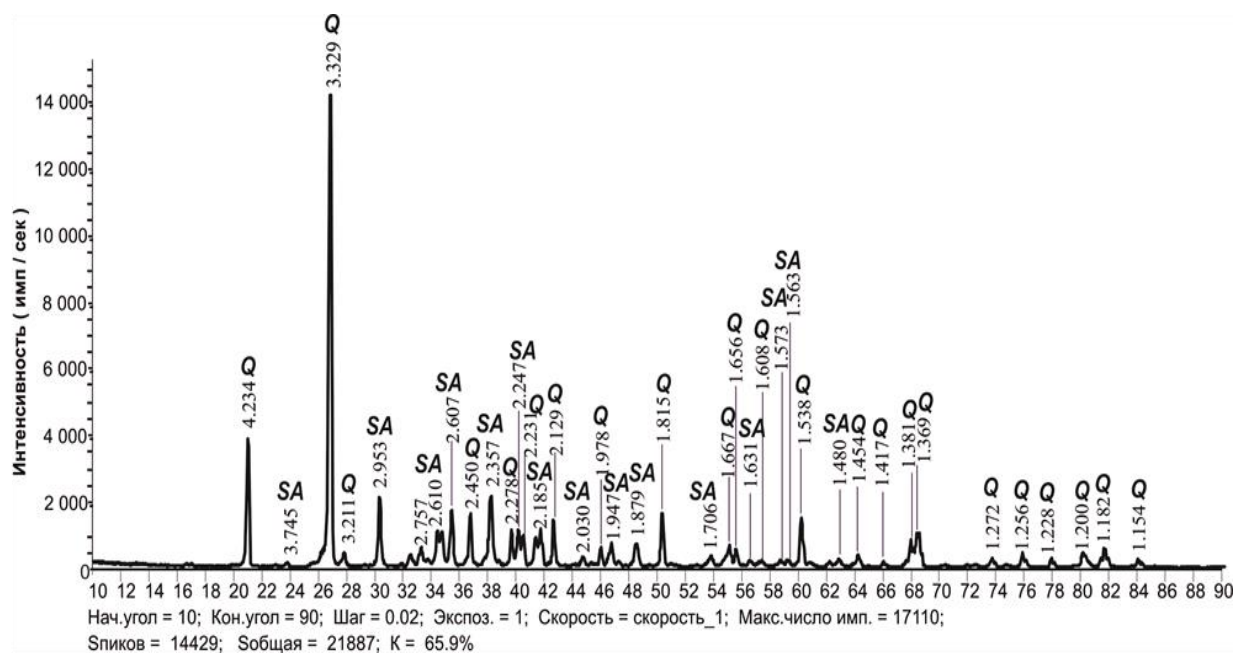
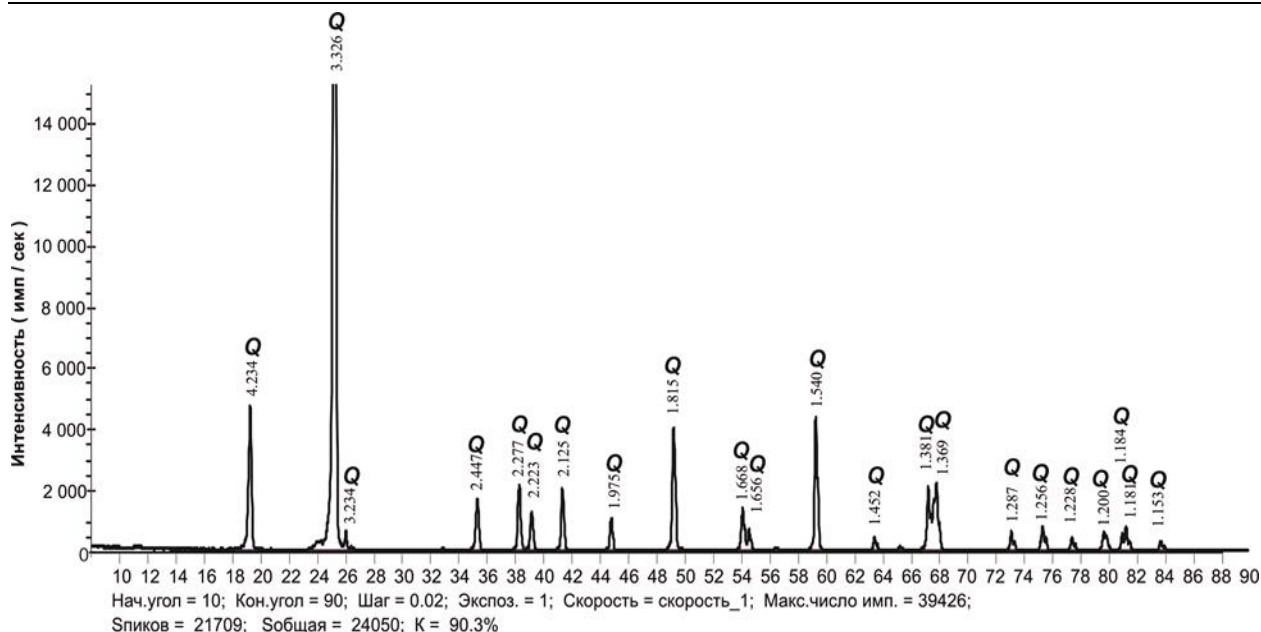


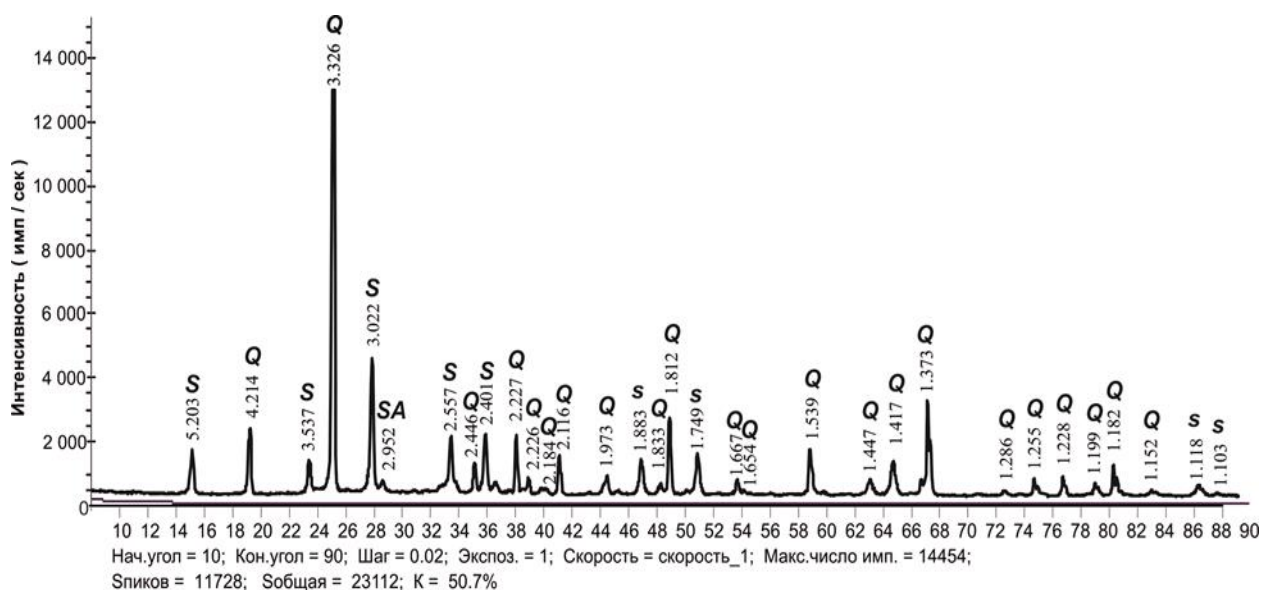
Рис. 2. РФА кварцевого песка ВС – 030-В: Q – низкотемпературный  $\beta$ -кварц

Fig. 2. X-ray phase analysis of quartz sand: Q - low-temperature  $\beta$ -quartz



**Рис. 3.** РФА смеси химического состава, масс. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  – 26,1;  $\text{SiO}_2$  – 73,9 из кварцевого песка и кальцинированной соды, термообработанной при 400°C. Основной фазой является кристаллическая в виде низкотемпературного  $\beta$ -кварца (Q) и кальцинированной соды (SA)

**Fig. 3.** X-ray phase analysis of mixtures of chemical composition, wt. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  - 26.1;  $\text{SiO}_2$  - 73.9 from quartz sand and soda ash, heat-treated at 400°C. The main phase is crystalline in the form of low-temperature  $\beta$ -quartz (Q) and soda ash (SA)

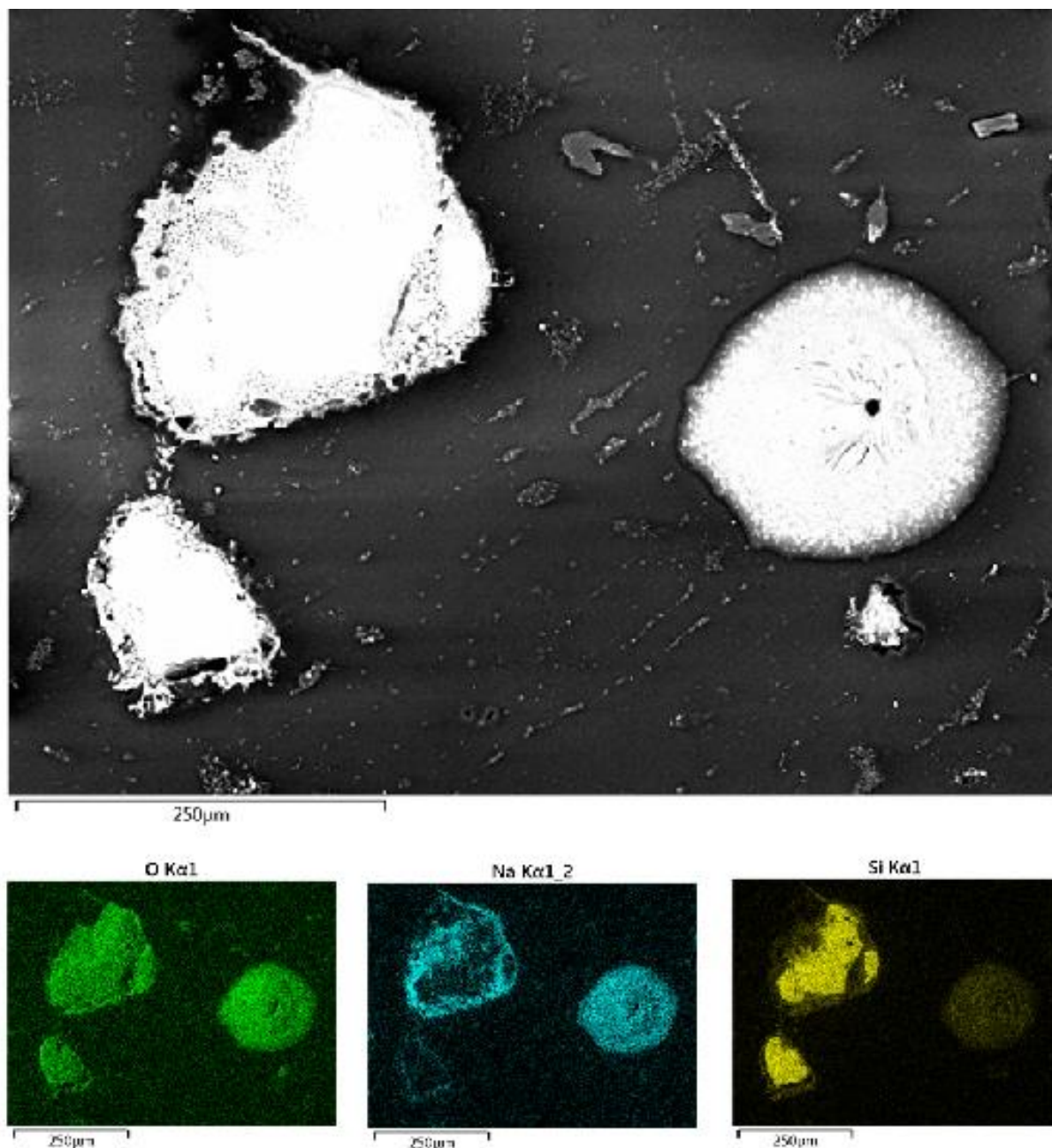


**Рис. 4.** РФА продукта термообработки при 32°C кварцевого песка и гидроксида натрия, имеющего химический состав, масс. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  – 26,1;  $\text{SiO}_2$  – 73,9. Основными фазами являются аморфная и кристаллическая в виде низкотемпературного  $\beta$ -кварца (Q) и метасиликата натрия (S). Отмечается присутствие соединения, характерного для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (SA)

**Fig. 4.** X-ray phase analysis of heat treatment product at 325 °C of quartz sand and sodium hydroxide, having a chemical composition, wt. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  - 26.1;  $\text{SiO}_2$  - 73.9. The main phases are amorphous and crystalline in the form of low-temperature  $\beta$ -quartz (Q) and sodium metasilicate (S). The presence of a compound characteristic of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (SA) is noted

Растровая электронная микроскопия частиц ССМ и их шлифов показала, что ядром частицы продукта обработки кварцевого песка гидроксидом натрия является кварцевое зерно с оболочкой в виде соединений, имеющих в своем составе атомы Si, O, Na (рис. 5). Оболочка имеет

развитую рыхлую структуру толщиной до 90 мкм, образованную как на открытой поверхности зерна, так и в местах дефектов кварцевого зерна (трещиноватость, растрескивание, каверны). Образование оболочки происходит как на угловатых зернах, так и на окатанных.



**Рис. 5.** РЭМ шлифов частиц ССМ химического состава, масс. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  – 26,1;  $\text{SiO}_2$  – 73,9

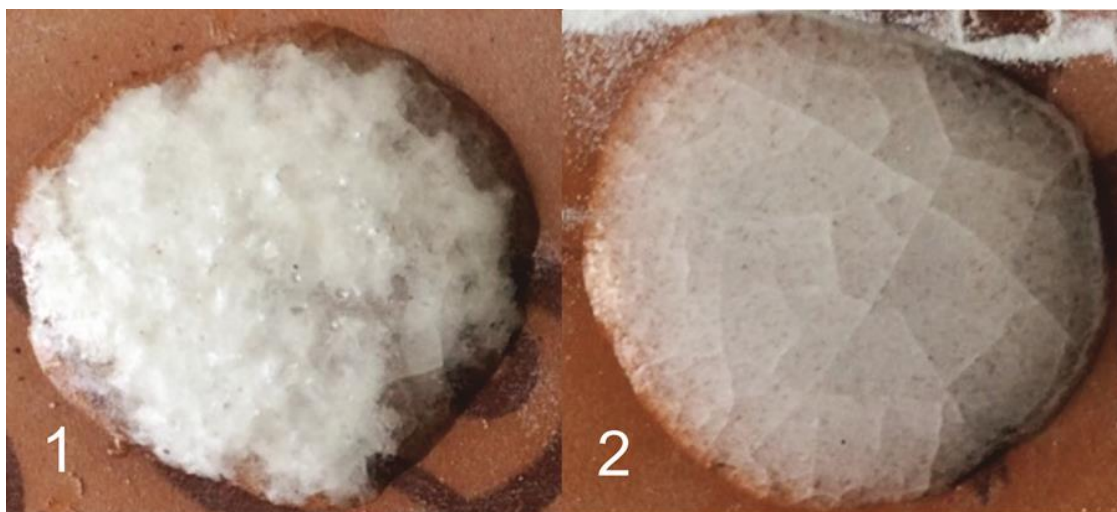
**Fig. 5.** REM of thin sections of SCM particles of chemical composition, wt. %:  $\text{Na}_2\text{O}$  - 26.1;  $\text{SiO}_2$  - 73.9

## Результаты и их обсуждение

Сравнительные лабораторные варки таблетированных образцов шихт силикат-глыбы из примера (рис. 6) показали, что образец на карбонатной шихте содержал большее количество газовой фазы в виде

пузырей до 1-2 мм, а также нерастворенных зерен кварца.

Образец экспериментальной шихты содержал меньшее количество газообразной фазы, а площадь расплава с более выраженной стекловидной фазой была больше площади расплава образца на традиционной основе.



**Рис. 6.** Таблетированные образцы шихт силикат-глыбы с  $n = 3,87$  при термообработке при  $900^{\circ}\text{C}$ : 1 – образец шихты на кварцевом песке и кальцинированной соде; 2 – образец шихты, подготовленный в соответствии с примером на гидроксиде натрия и кварцевом песке

**Fig. 6.** Tableted samples of mixtures of silicate lumps with  $n = 4$  during heat treatment at  $900^{\circ}\text{C}$ : 1 - a sample of the charge on quartz sand and soda ash; 2 - a sample of the mixture prepared in accordance with the Example on sodium hydroxide and quartz sand

## Выводы

Сравнительная варка экспериментальных образцов таблетированных шихт для силикат-глыбы показала эффективность разработанного способа активации кварцсодержащего сырья. Снижение температуры варки на образцах экспериментальной шихты составило  $300^{\circ}\text{C}$  ( $1250^{\circ}\text{C}$ ) по сравнению с шихтой на основе кварцевого песка и гидроксида натрия ( $1550^{\circ}\text{C}$ ). Возможность активации кварцевого песка, имеющего окатанные зерна, по

предлагаемому способу может являться предпосылкой для увеличения реакционной способности последних и расширить сырьевую базу кварцевых песков для стекольной промышленности за счет имеющих удовлетворительный химический состав, но не рекомендованных ввиду окатанной поверхности. Результаты исследования были оформлены в виде патента РФ № 2714415 «Способ подготовки шихты для щелочно-силикатного стекла».

## Список литературы

1. Мельников Е. П. Методы изучения и оценки месторождений кварцевого сырья. М.: Недра, 1990. 163 с.
2. Парюшкина О. В., Мамина Н. А., Панкова Н. А. Стекольное сырье России. М.: АО «Силикоформ», 1995. 84 с.
3. Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М.: Высшая школа, 1971. 608 с.



4. Гулоян Ю. А. Физико-химические основы технологии стекла. М.: Транзит-Икс, 2008. 736 с.
5. Гулоян Ю. А. Технология стеклотары и сортовой посуды. М.: Легпромбытиздат, 1986. 365 с.
6. Рафиенко В. А. Обогащение кварцевых песков. М.: Моск. гос. горн. ун-т, 2004. 57 с.
7. Парюшкина О. В. Методы подготовки кварцевого песка с целью интенсификации стекловарения: дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. 228 с.
8. Шелаева Т. Б. Механохимическая активация стекольной шихты: дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 133 с.
9. Патент № 2295503 Российская Федерация, МПК C03B1/02. Способ подготовки стекольной шихты / Крашенинникова Н. С., Фролова И. В., Казьмина О. В. № 2005133162/03; заявл. 27.10.2005; опубл. 20.03.2007, Бюл. № 8.
10. Патент № 2597008 Российская Федерация, МПК C03B1/02. Сырьевой концентрат и шихта для производства силикатного стекла / Лавров Р. В. № 2015135608/03; заявл. 24.08.2015; опубл. 10.09.2016, Бюл. № 6.
11. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья. Новосибирск: Гео, 2009. 153 с.
12. Патент № 2464240 Российская Федерация, МПК C03B1/02. Способ подготовки стекольной шихты / Бессмертный В. С., Минько Н. И., Черникова А. А., Лазько Е. А., Лазько А. А., Кеменинов С. А. № 2011113104/03; заявл. 05.04.2011; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 5.
13. Лавров Р. В. Особенности процессов стеклообразования при использовании гидроксидов металлов: дис. ... канд. техн. наук. Белгород, 2015. 182 с.
14. Lavrov R. V., Mironovich L. M. A novel method for preparing a batch of silicate glasses using sodium and potassium hydroxides // *Glass Phys. Chem.* 2018. Vol. 44, no. 2. P. 145–151.
15. Lavrov R. A method of activation of a quartz-containing raw material component of a glass batch with sodium hydroxide // *The American Ceramic Society. 25th International Congress on Glass (ICG 2019)*. Boston, Massachusetts, USA. 2019. P. 94.
16. Фам Ван Ау. Исследование механоактивации порошкообразных материалов в процессах производства гранулированных продуктов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2000. 180 с.
17. Лавров Р. В., Рассеко Д. С. Модификация синтетического сырьевого материала на основе гидроксида натрия для получения стекла // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2021. № 8. С. 1–8.
18. Features of the morphological structure of grains of two-component ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) synthetic raw material for the glass industry / R. V. Lavrov, A. P. Kuzmenko, N. I. Min'ko, E. G. Klikin, V. V. Rodionov // *Glass Phys. Chem.* 2022. Vol. 48, no. 5. P. 436–439.
19. Патент № 2714415 Российская Федерация, МПК C03C1/02. Способ подготовки шихты для щелочно-силикатного стекла / Лавров Р. В., Кузьменко А. П., Миронович Л. М., Дьяков А. О., Мью Мин Тан, Родионов В. В. № 2019112334; заявл. 23.04.2019; опубл. 14.02.2020, Бюл. № 5.
20. Лавров Р. В. Использование гидроксида натрия для получения стекловидных щелочных силикатов // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2019. № 7. С. 95–102.

## References

1. Melnikov E. P. *Metody izucheniya i otsenki mestorozhdenii kvartsevogo syr'ya* [Methods for studying and assessing deposits of quartz raw materials]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 163 p.
2. Paryushkina O. V., Mamina N. A., Pankova N. A. *Stekol'noe syr'e Rossii* [Glass raw materials of Russia]. Moscow, JSC "Silicoform", 1995. 84 p.
3. Lazarenko E. K. *Kurs mineralogii* [Mineralogy course]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 608 p.
4. Guloyan Yu. A. *Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii stekla* [Physico-chemical foundations of glass technology]. Moscow, Transit-X Publ., 2008. 736 p.
5. Guloyan Yu. A. *Tekhnologiya steklotary i sortovoi posudy* [Technology of glass containers and high-quality glassware]. Moscow, Legprombytizdat Publ., 1986. 365 p.
6. Rafienko V. A. *Obogashchenie kvartsevyykh peskov* [Enrichment of quartz sands]. Moscow, Moscow St. Bugle Univ. Publ., 2004. 57 p.

7. Paryushkina O. V. Metody podgotovki kvartseвого песка s tsel'yu intensivatsii steklovarenia. Diss. kand. techn. nauk [Methods for preparing quartz sand for the purpose of intensifying glass melting. Cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 1985. 228 p.
8. Shelaeva T. B. Mekhanokhimicheskaya aktivatsiya stekol'noi shikhty. Diss. kand. techn. nauk [Mechanochemical activation of glass batch. Cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 2015. 133 p.
9. Krashennnikova N. S., Frolova I. V., Kazmina O. V. Sposob podgotovki stekol'noi shikhty [Method for preparing glass batch]. Patent RF, no. 2295503, 2007.
10. Lavrov R. V. Syr'evoi kontsentratsiya i shikhta dlya proizvodstva silikatnogo stekla [Raw material concentrate and charge for the production of silicate glass]. Patent RF, no. 2597008, 2016.
11. Avvakumov E. G. Mekhanicheskie metody aktivatsii v pererabotke prirodnogo i tekhnogennoogo syr'ya [Mechanical activation methods in the processing of natural and man-made raw materials]. Novosibirsk, Geo Publ., 2009. 153 p.
12. Bessmertny V. S., Minko N. I., Chernikova A. A. Sposob podgotovki stekol'noi shikhty [Method for preparing glass batch]. Patent RF, no. 2464240, 2012.
13. Lavrov R. V. Osobennosti protsessov stekloobrazovaniya pri ispol'zovanii gidroksidov metallov. Diss. kand. techn. nauk. [Features of glass formation processes when using metal hydroxides. Cand. eng. sci. diss.]. Belgorod, 2015. 182 p.
14. Lavrov R. V., Mironovich L. M. A novel method for preparing a batch of silicate glasses using sodium and potassium hydroxides. *Glass Phys. Chem.*, 2018, vol. 44, no. 2, pp. 145–151.
15. Lavrov R. A method of activation of a quartz-containing raw material component of a glass batch with sodium hydroxide. *The American Ceramic Society. 25th International Congress on Glass (ICG 2019)*. Boston, Massachusetts USA, 2019. P. 94.
16. Pham Van Au. Issledovanie mekhanoaktivatsii poroshkoobraznykh materialov v protsessakh proizvodstva granulirovannykh produktov. Diss. kand. techn. nauk [Study of mechanical activation of powdered materials in the processes of production of granular products. Cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 2000. 180 p.
17. Lavrov R. V., Rasseko D. S. Modifikatsiya sinteticheskogo syr'evogo materiala na osnove gidroksida natriya dlya polucheniya stekla [Modification of synthetic raw material based on sodium hydroxide to produce glass]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, 2021, no. 8, pp. 1–8.
18. Lavrov R. V., Kuzmenko A. P., Min'ko N. I., Klikin E. G., Rodionov V. V. Features of the morphological structure of grains of two-component ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) synthetic raw material for the glass industry. *Glass Phys. Chem.*, 2022, vol. 48, no. 5, pp. 436–439.
19. Lavrov R. V., Kuzmenko A. P., Mironovich L. M. Sposob podgotovki shikhty dlya shchelochno-silikatnogo stekla [Method for preparing a charge for alkali-silicate glass]. Patent RF, no. 2714415, 2020.
20. Lavrov R. V. Ispol'zovanie gidroksida natriya dlya polucheniya steklovidnykh shchelochnykh silikatov [The use of sodium hydroxide for the production of glassy alkali silicates]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, 2019, no. 7, pp. 95–102.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Лавров Роман Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kvarcinat@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4339-0729

**Roman V. Lavrov**, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kvarcinat@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4339-0729

**Кувардин Николай Владимирович**, кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kuvardin.nik@yandex.ru

**Nikolai V. Kuvardin**, Candidate of Sciences (Chemistry), Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kuvardin.nik@yandex.ru

**Нарматов Шерзод**, студент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: seriknarmatov03@gmail.com

**Sherzod Narmatov**, Student of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: seriknarmatov03@gmail.com