

МРНТИ 61.35.31

М.В. Дяденко<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
И.А. Левицкий<sup>2</sup>



<sup>1</sup>Канд. техн. наук, доцент, <sup>2</sup>Д-р техн. наук, профессор

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-4555-9401>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5001-605X>



<sup>1,2</sup>Белорусский государственный технологический университет,



г. Минск, Республика Беларусь



<sup>1</sup>[dyadenko-mihail@mail.ru](mailto:dyadenko-mihail@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/DDMK6594>

## ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ШИХТАХ, СОДЕРЖАЩИХ ОКСИДЫ ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ

**Аннотация.** Представлены результаты изучения сравнительного влияния оксидов железа и никеля на процессы силикатообразования в щелочных боро- и алюмосиликатных шихтовых композициях. Приведена характеристика и внешний вид шихтовых смесей, термообработанных при различных температурах. Представлены результаты рентгенофазового анализа указанных шихтовых композиций и особенности формирования кристаллических фаз в процессе их нагревания. Методом дифференциально-сканирующей калориметрии подробно изучены физико-химические процессы, протекающие в щелочных боро- и алюмосиликатных сырьевых композициях, а также установлено сравнительное влияние оксидов NiO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на закономерности их протекания в исследуемых шихтах.

**Ключевые слова:** шихта, физико-химический процесс, оксид железа, оксид никеля, жидкая фаза, кристаллическая фаза, гематит, дифференциально-сканирующая калориметрия, силикатообразование.



Дяденко, М.В. Особенности протекания физико-химических процессов в шихтах, содержащих оксиды железа и никеля [Текст] / М.В. Дяденко, И.А. Левицкий // *Механика и технологии / Научный журнал*. – 2023. – №4(82). – С.98-111. <https://doi.org/10.55956/DDMK6594>

**Введение.** С целью более детального понимания процессов формирования структуры стекла зачастую недостаточно знания химических предпосылок. Как правило, требуется проведение дополнительных исследований, отражающих последовательность протекания физико-химических процессов в шихте, которые обуславливают образование расплава определенного химического состава и структуры.

Различают следующие стадии стекловарения: силикатообразование, стеклообразование, гомогенизация, осветление и студка [1-2].

К концу стадии силикатообразования шихта представляет собой спекшуюся массу, состоящую из силикатов различного химического состава. На данной стадии происходит улетучивание газообразных продуктов, при этом отдельные компоненты шихты отсутствуют. Скорость стадии силикатообразования зависит от наличия в шихте оксидов щелочных и щелочноземельных элементов и удельной поверхности компонентов шихты.

Процессы, протекающие на стадии силикатообразования, являются преимущественно эндотермическими. В связи с этим определяющим фактором их роста является температура. Стадия силикатообразования для ряда стекол промышленных составов протекает в пределах 300-1150 °С. К концу данной стадии происходит полное удаление гигроскопической влаги и химически связанной воды, завершаются реакции диссоциации солей, удаляется значительная доля газообразных соединений, завершаются основные химические реакции между компонентами шихты, образуется спек силикатов и жидкая фаза, которая представляет собой смесь легкоплавких эвтектик.

Определяющая роль в процессе силикатообразования отводится температуре. Появление жидкой фазы при определенной температуре из эвтектик обуславливает увеличение скорости образования силикатов.

К твердофазовым реакциям относятся: удаление гигроскопической влаги, химически связанной воды; начало диссоциации карбонатсодержащих компонентов шихты; образование двойных солей.

К химическим реакциям относят реакции между солями, между двойными солями и оксидами, а также между оксидами.

Газообразные продукты, которые образуются в результате разложения сырьевых материалов, удаляются из шихты вместе с отходящими дымовыми газами, а оставшиеся оксиды вступают в реакцию с кремнеземом, образуя силикаты. Реакции в твердом состоянии протекают с невысокой скоростью, которая возрастает с появлением жидкой фазы (эвтектики).

Растворимость компонентов шихты зависит от их количественного соотношения, температуры и продолжительности нагревания.

Целью данной работы является изучение особенностей протекания физико-химических процессов в боро- и алюмосиликатной шихтах, содержащих оксиды железа и никеля.

**Условия и методы исследований.** Для приготовления железо- и никельсодержащих шихтовых смесей на основе систем  $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  использовали следующие сырьевые материалы: соду кальцинированную (ГОСТ 5100-85) [3], борную кислоту (ГОСТ 18704-78) [4], кварцевый песок (ГОСТ 22551-77) [5], глинозем (ГОСТ 6912-87) [6], оксид железа (квалификации «чда» ТУ 6-09-5346-87) и оксид никеля (ГОСТ 17607-72) [7]. Приготовление шихты, которая представляет собой однородную смесь компонентов, подготовленную для стекловарения, включало стадию взвешивания сырьевых материалов. Далее шихта перемешивалась в фарфоровой ступке до достижения однородного распределения отдельных компонентов в смеси. Длительность перемешивания одной порции шихтовой смеси составляла 15–20 мин.

Термический анализ проводился методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с использованием калориметра DSC 404 F3 Pegasus, Netzsch. Скорость нагрева составляла 10 °С /мин; измерения были проведены в температурном интервале 50–1000 °С. Анализ спектров ДСК и разделение пиков проводили с помощью пакета программ фирмы NETZSCH. Экспериментальные кривые представляли собой зависимость теплового потока от температуры.

Рентгенограммы продуктов кристаллизации стекол снимались на рентгеновском дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker (Германия) (излучение –  $\text{CuK}\alpha$ , детектор – сцинтилляционный счетчик). Для идентификации кристаллических фаз использовалась международная

картотека Join Comite on Powder Diffraction Standarts и программное обеспечение DIFFRAC PLUS фирмы «Bruker».

Сканирующая электронная микроскопия использовалась для уточнения типа кристаллических включений. Исследование проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Приготовлены боросиликатная и алюмосиликатная серии шихтовых композиций, в которые раздельно вводились оксиды NiO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> взамен SiO<sub>2</sub> в количестве от 2,5 до 15 мол. % с шагом 2,5 мол. %.

По результатам термической обработки шихт в течение 1 ч при температурах 500 и 770 °С выявлено, что основные потери массы при нагревании характерны для железо- и никельсодержащих боросиликатной шихт. На наш взгляд, это связано с использованием в данных сырьевых смесях борной кислоты, которая при термической обработке уменьшает свою массу практически наполовину вследствие удаления газообразной H<sub>2</sub>O [8]. Следует отметить, что по результатам термообработки никельсодержащих боросиликатных шихт при 500 °С визуальных признаков появления жидкой фазы не обнаружено.

Термообработка железосодержащих боросиликатных шихт уже при 500 °С привела к формированию спека коричневого оттенка с частичным присутствием стекловидной фазы, при этом наблюдалось интенсивное газовыделение с формированием значительного количества пор, а также уменьшение материала в объеме (рис. 1). При этом увеличение содержания оксида Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 2,5 до 15,0 мол. % обусловило изменение цвета спека до темно-зеленого.

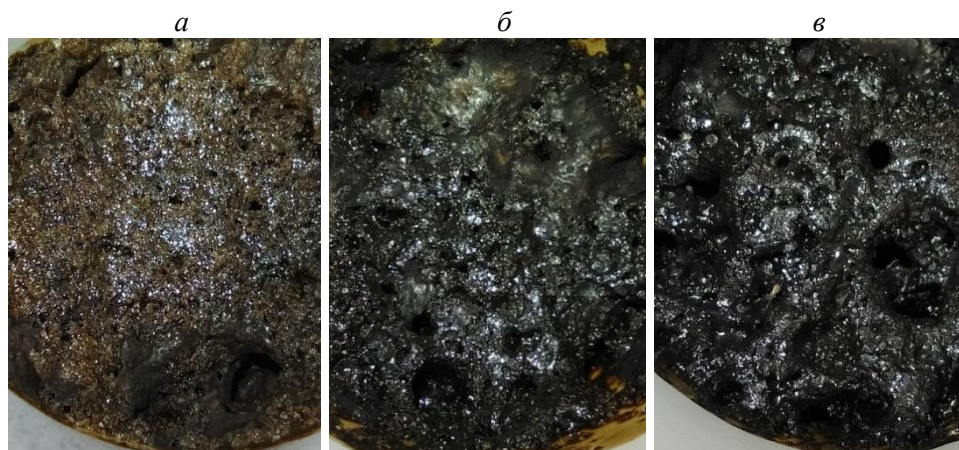


Рис. 1. Внешний вид образцов железосодержащих боросиликатных шихт, включающих, мол. %: 5,0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (а), 10,0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (б), 15,0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в)

Термообработка никельсодержащих боросиликатных шихт привела к частичному формированию спека серо-зеленого цвета лишь при температуре 770 °С с незначительной долей стекловидной фазы (рис. 2).

Железо- и никельсодержащие алюмосиликатные шихтовые композиции в процессе их термообработки до 770 °С не проявляли видимых признаков появления эвтектического расплава. В связи с этим данные сырьевые композиции были подвергнуты термической обработке при 900 °С.

Такая термообработка железосодержащих алюмосиликатных шихтовых смесей привела к формированию спека молочного цвета с неравномерным распределением темно-зеленой окраски по его поверхности и значительной долей стекловидной фазы, а также признаками газовыделения (рис. 3).

Термообработка никельсодержащих алюмосиликатных шихтовых смесей по аналогичному режиму привела к формированию спека серого оттенка с видимыми признаками наличия стекловидной фазы и активного газовыделения (рис. 4).

При этом увеличение количества оксида никеля в сырьевых смесях вызывает, на наш взгляд, уменьшение доли стекловидной фазы и появление мелкозернистых кристаллов изометричной формы.

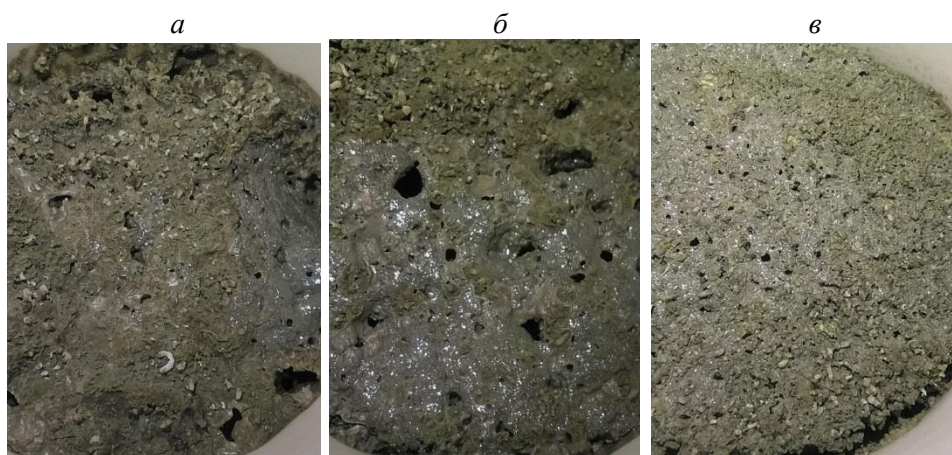


Рис. 2. Внешний вид образцов никельсодержащих боросиликатных шихт, включающих, мол. %: 5,0 NiO (а), 10,0 NiO (б), 15,0 NiO (в)

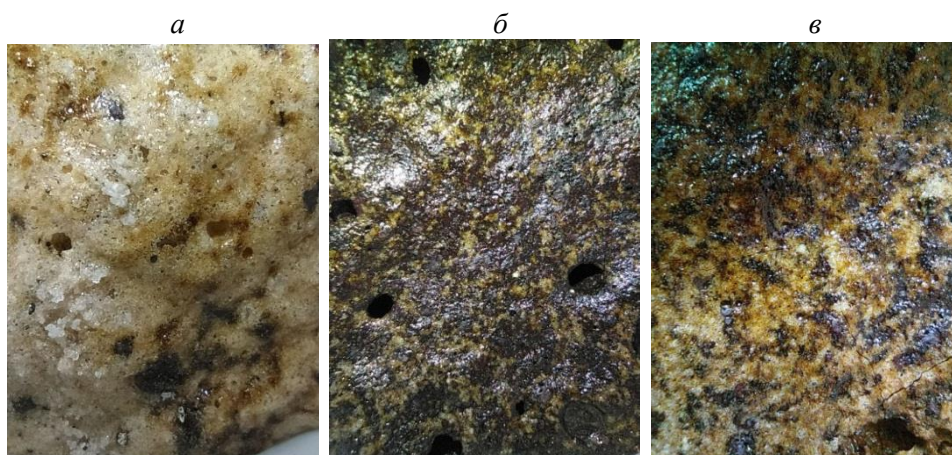


Рис. 3. Внешний вид образцов железосодержащих алюмосиликатных шихт, включающих, мол. %: 5,0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (а), 10,0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (б), 15,0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в)



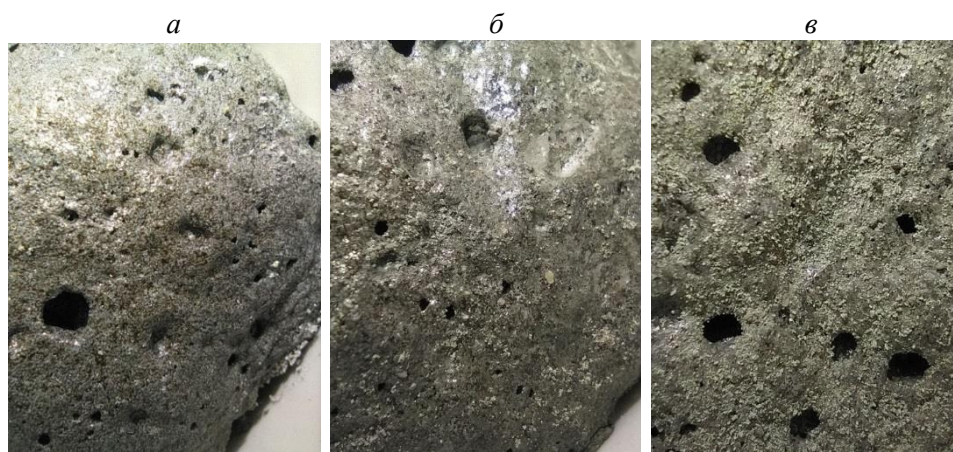
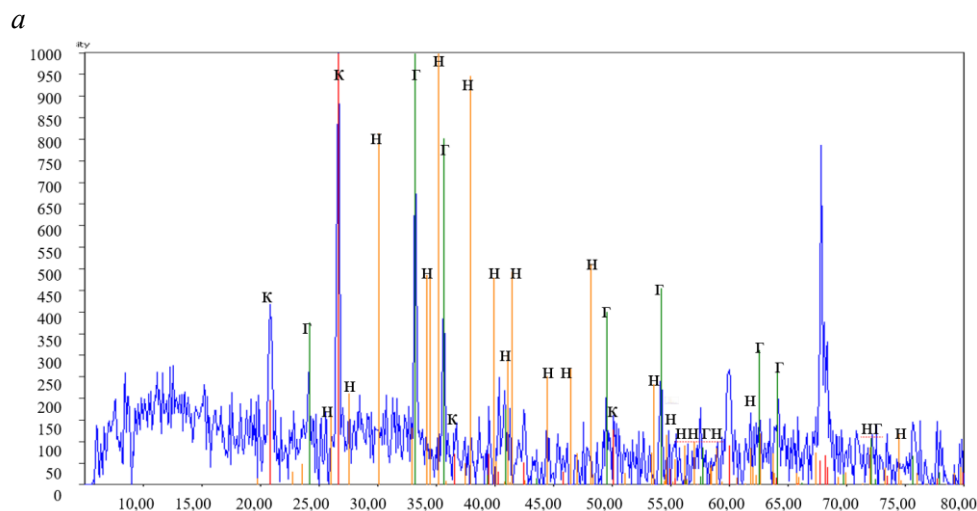


Рис. 4. Внешний вид образцов никельсодержащих алюмосиликатных шихт, включающих, мол. %: 5,0 NiO (а), 10,0 NiO (б), 15,0 NiO (в)

По результатам термообработки шихтовых смесей установлено, что температура появления первичного расплава и его количество определяются в первую очередь типом основной стеклообразующей системы, а также количеством вводимых оксидов железа и никеля. Шихтовые смеси на основе боросиликатной системы характеризуются более низкими температурами появления жидкой фазы, чем аналогичные на основе алюмосиликатной системы.

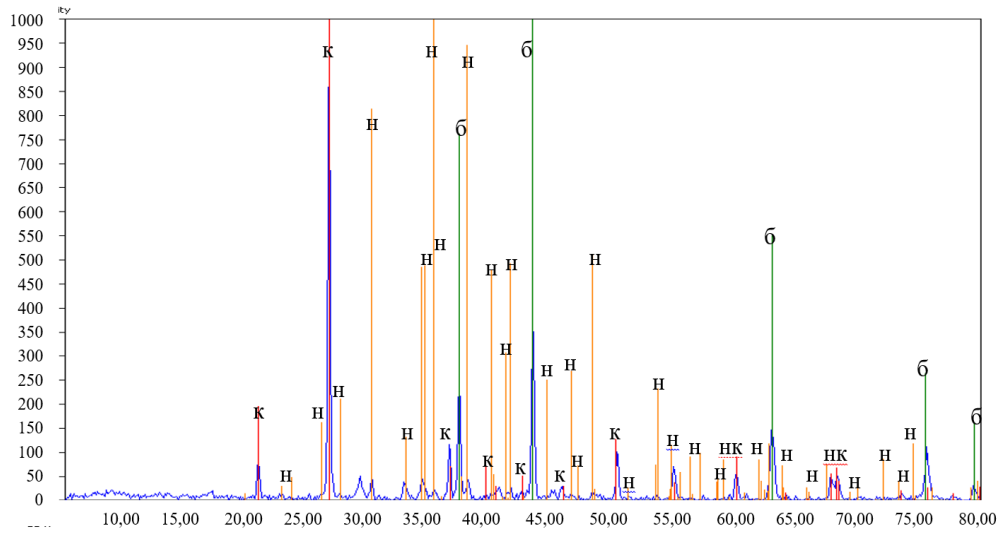
С целью изучения фазового состава термообработанных при 770 °С боро- и алюмосиликатных шихт выполнен их рентгенофазовый анализ.

Анализ рентгенограмм позволил выявить наличие кристаллических фаз кварца  $\text{SiO}_2$ , гематита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , бунзенита  $\text{Ni}_{0,995}\text{O}$  и натрита  $\gamma\text{-Na}_2\text{CO}_3$  (рис. 5), а термообработанных при температуре 770 °С сырьевых алюмосиликатных композиций – наличие кварца  $\text{SiO}_2$ , магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , бунзенита  $\text{Ni}_{0,995}\text{O}$ , натрита  $\gamma\text{-Na}_2\text{CO}_3$  и корунда  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 6).



к – кварц ( $\text{SiO}_2$ ); г – гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); н – натрит ( $\gamma\text{-Na}_2\text{CO}_3$ ).

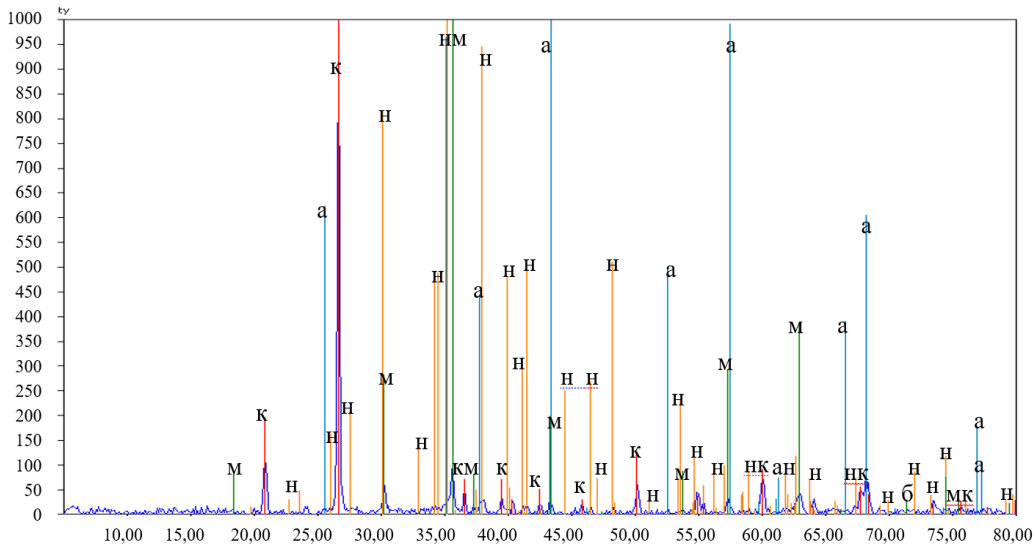
б



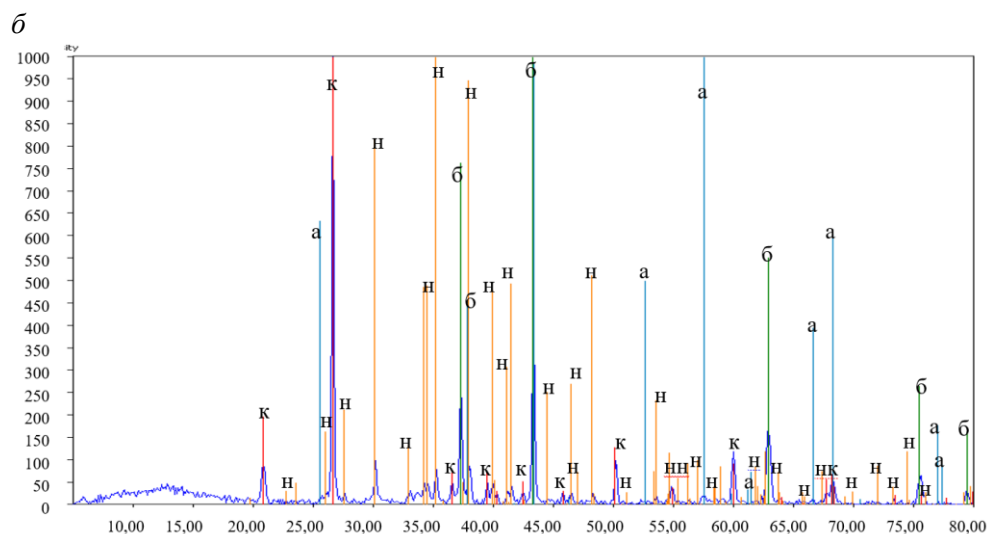
к – кварц ( $\text{SiO}_2$ ); б – бунзени́т ( $\text{Ni}_{10,995}\text{O}$ ); н – натрит ( $\gamma\text{-Na}_2\text{CO}_3$ ).

Рис. 5. Рентгенограммы термообработанных при 770 °С боросиликатных композиций, включающих 15 мол. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (а) и 15 мол. %  $\text{NiO}$  (б)

а



к – кварц ( $\text{SiO}_2$ ); м – магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); н – натрит ( $\gamma\text{-Na}_2\text{CO}_3$ ); а – корунд ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )



к – кварц ( $\text{SiO}_2$ ); б – бунзени́т ( $\text{Ni}_{10,995}\text{O}$ ); н – натрит ( $\gamma\text{-Na}_2\text{CO}_3$ ); а – корунд ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Рис. 6. Рентгенограммы термообработанных при 770 °С алюмосиликатных композиций, включающих 15 мол. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (а) и 15 мол. % NiO (б)

Следует подчеркнуть, что в алюмосиликатных шихтовых композициях образуется магнетит, а в боросиликатных – гематит. Как известно [9-11], магнетит, в отличие от гематита, образуется в более восстановительных условиях. На наш взгляд, в рамках данной работы это связано с различной степенью основности боросиликатных и алюмосиликатных стекол, которая и определяет окислительно-восстановительное состояние шихты в процессе ее термообработки [12-13].

Спек при 770 °С боросиликатной шихты, содержащей оксид железа в количестве 15 мол. %, характеризуется наличием кристаллов преимущественно пластинчатого габитуса с близким к гексагональному сечением, равномерно расположенных по площади изображения (рис. 7а). Размер кристаллов составляет порядка 10 мкм.

Для никельсодержащих боросиликатных спеков, полученных при 770 °С, характерно равномерное расположение кристаллов, близких к столбчатому очертанию, размер которых составляет 0,5-2 мкм (рис. 7б).

Термообработанная при 770 °С алюмосиликатная шихта, содержащая 15 мол. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , характеризуется высокой степенью закристаллизованности. Кристаллические образования, нередко уплощенные по форме, характеризуются удлиненным, близким к призматическому габитусом (рис. 7в). Кристаллы размером 5–10 мкм плотно расположены по всей поверхности снимка.

В никельсодержащем алюмосиликатном спеке, полученном при 770 °С, кристаллы сформированы в виде сростков звездчатого типа и равномерно распределены по поверхности изображения. Размеры сростков варьируются от 4 до 8 мкм (рис. 7г).

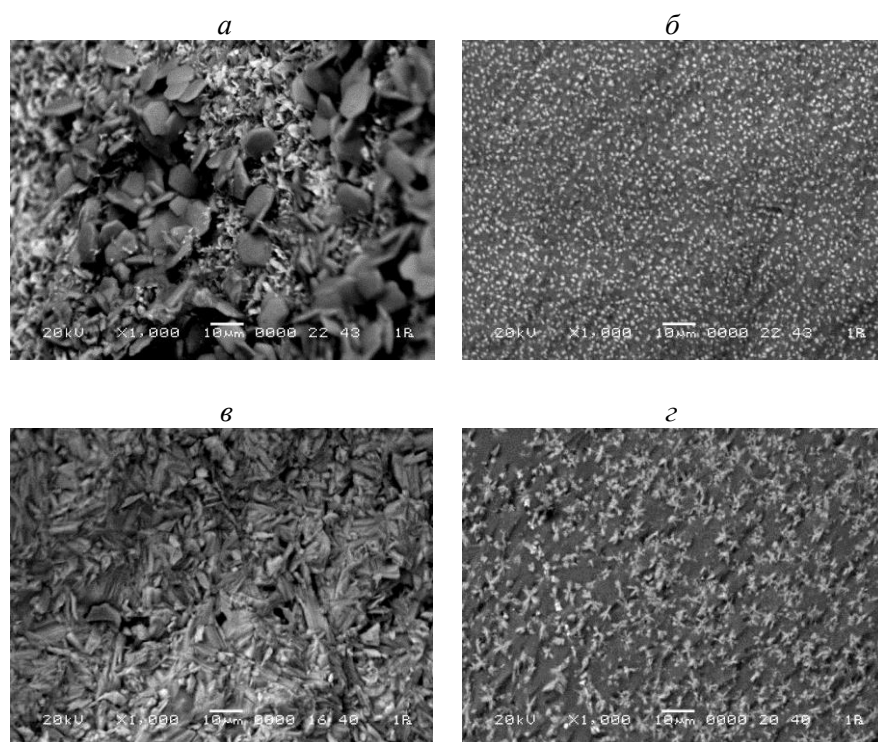


Рис. 7. Электронно-микроскопические снимки шихтовых боросиликатных композиций, включающих 15 мол. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (а), 15 мол. %  $\text{NiO}$  (б), и алюмосиликатных композиций, включающих 15 мол. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (в), 15 мол. %  $\text{NiO}$  (г)

При этом интенсивности дифракционных максимумов гематита и магнетита увеличиваются с ростом содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в шихтовой композиции, а бунзенина – с повышением количества оксида никеля.

С ростом температуры термообработки до 770 С качественный фазовый состав продуктов кристаллизации не изменяется. При этом наблюдается снижение интенсивностей рефлексов, принадлежащих  $\gamma\text{-Na}_2\text{CO}_3$ , что подтверждает более активное вступление кальцинированной соды в химическую реакцию с компонентами шихты.

По результатам рентгенофазового анализа всех шихт, подвергнутых изотермической выдержке при 770 С, установлено, что основным продуктом является непрореагировавший кремнезем в форме  $\alpha$ -кварца.

В многокомпонентных системах реакции диссоциации карбонатов, силикатообразования и плавления начинаются раньше, они идут более интенсивно и заканчиваются при более низких температурах. На тенденцию увеличения количества стеклофазы, образующейся при термообработке шихт, также указывает некоторый рост интегрального гало, который отмечается на дифрактограммах спеков.

Таким образом, методом рентгенофазового анализа изучены структурные превращения, происходящие в боро- и алюмосиликатной шихте, включающей оксиды железа и никеля.

Рентгенографически установлено снижение количества натрита в шихтовых композициях с ростом температуры, что свидетельствует, по-видимому, о взаимодействии кальцинированной соды с кремнеземом.



Значительный удельный вес в алюмосиликатных шихтовых композициях занимает кристаллическая фаза корунда, что говорит о ее определенной инерционности по отношению к компонентам шихты в рассматриваемом температурном интервале.

На рис. 8 представлены кривые дифференциально-сканирующей калориметрии для базовых боро- и алюмосиликатных шихтовых композиций, не содержащих в своем составе оксиды железа и никеля. Приведенные кривые подтвердили протекание в шихте сложных термодинамических процессов силикато- и стеклообразования.

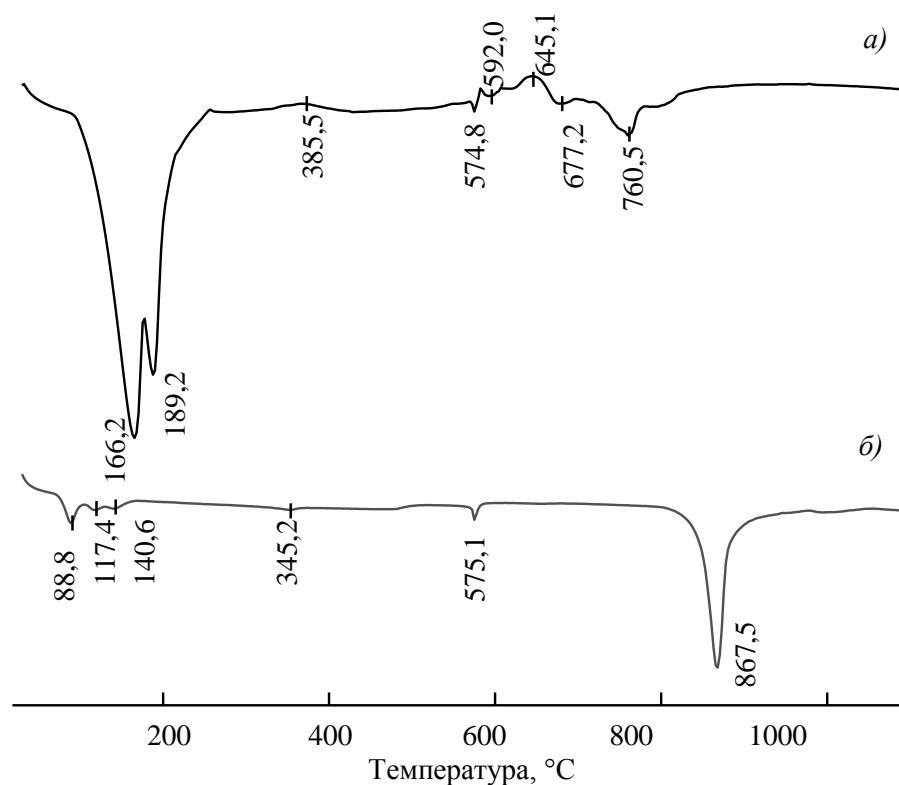
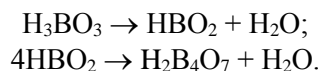


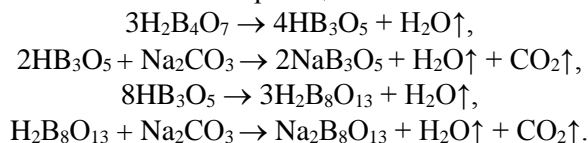
Рис. 8. Кривые ДСК образцов базовой боросиликатной (а) и алюмосиликатной (б) шихтовых композиций

На приведенной кривой боросиликатной шихтовой композиции (рис. 8а), в интервале значений 70–210 °С происходит разложение кальцинированной соды, а также наблюдается двухступенчатый эндотермический эффект, обусловленный поэтапным разложением  $\text{H}_3\text{BO}_3$  по реакциям [14,15]:



В указанном интервале температур происходит разложение ортоборной кислоты до метаборной с выделением воды и последующим разложением до  $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Выше 400 °С  $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$  разлагается на  $\text{B}_2\text{O}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

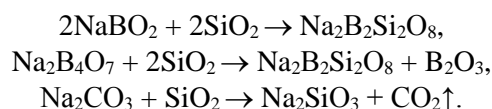
Слабо выраженный экзоэффект с максимумом при 385 °С, очевидно, связан с образованием  $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}$  по реакциям



При температуре порядка 500 °С физико-химические реакции с участием кальцинированной соды заканчиваются и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  переходит в аморфизированное состояние. На этом этапе шихтовая смесь представляет собой гетерогенную систему, состоящую из жидкой фазы  $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{B}_2\text{O}_3$  и кварцевых зерен, которые при 574–575 °С переходят в высокотемпературную форму ( $\alpha$ -кварц). Переход в данную кристаллическую модификацию сопровождается увеличением зерен кварца в объеме с последующим их растрескиванием, вызывая рост удельной поверхности и, как результат, повышение их реакционной способности.

Термические эффекты при 592,0 и 645,1 °С, обусловлены, очевидно, образованием малоустойчивых промежуточных соединений и процессами плавления образованных боратов натрия.

В интервале температур 650–800 °С, очевидно, протекают следующие реакции с участием  $\text{SiO}_2$ :



Выше 850 °С кварц полностью растворяется в жидкой фазе и система становится однофазной.

Для базовой алюмосиликатной шихтовой композиции (рис. 8б) в интервале температур 80–150 °С наблюдается удаление физически и химически связанной влаги, а также разрушение кристаллогидратов кальцинированной соды.

Незначительный эндоэффект при 345,2°С, по-видимому, связан с началом термической диссоциации карбонатов и протеканием твердофазовых реакций между кальцинированной содой и кварцевым песком.

Минимум эндоэффекта при температуре 575,1°С вероятно отвечает модификационному переходу  $\beta$ -кварца в высокотемпературный  $\alpha$ -кварц.

Глубокий эндотермический эффект с минимумом при 867,5°С, очевидно, вызван интенсивным образованием жидкой фазы за счет плавления образованных силикатов.

Выше 950 °С кварц и корунд полностью растворяются в жидкой фазе и система становится однофазной.

С увеличением в составе шихтовых боросиликатных композиций оксидов железа и никеля, вводимых в количестве от 2,5 до 15 мол. %, интенсивность пика, соответствующего ступенчатому разложению борной кислоты, уменьшается (рис. 9).

Для алюмосиликатных шихт введение оксида железа в количестве 2,5–15,0 мол.% вызывает снижение интенсивности дифракционного максимума, соответствующего удалению физически и химически связанной воды, а введение оксида никеля в эквивалентном количестве – его увеличение (рис.10).

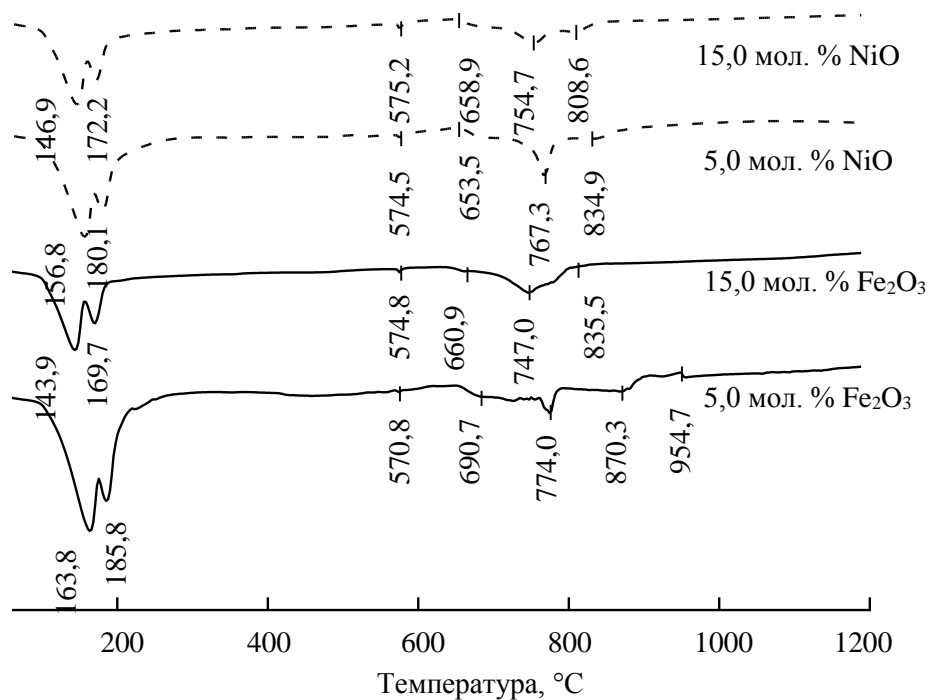


Рис. 9. Сравнительное влияние  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{NiO}$  на термические эффекты, протекающие в натрийсодержащих боросиликатных спеках

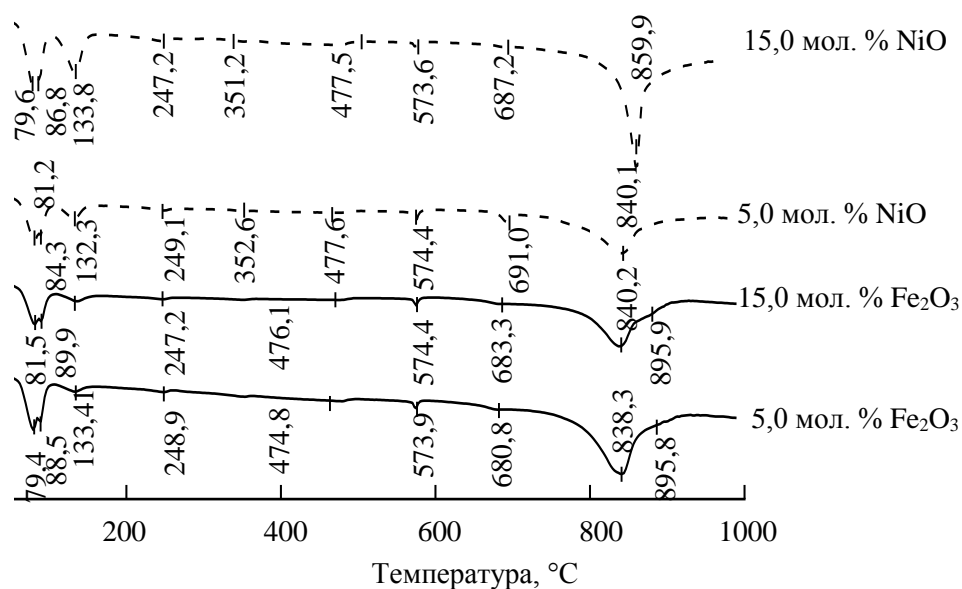


Рис. 10. Сравнительное влияние  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{NiO}$  на термические эффекты, протекающие в натрийсодержащих алюмосиликатных спеках

Экспериментально подтверждено, что  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  более существенно снижает температуру растворения кварца в алюмосиликатных шихтовых композициях,

чем оксид никеля. Это обусловлено, на наш взгляд, более низкой температурой плавления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1565 °С) в сравнении с аналогичным показателем для оксида никеля, который составляет 1955°С.

Введение NiO в шихтовые алюмосиликатные композиции обуславливает растворение зерен кварца при более высоких значениях температур, чем в случае боросиликатных сырьевых смесей.

Появление эндотермических эффектов на кривых, соответствующих алюмосиликатным шихтам, в интервале температур 247–250 и 472–477°С связано, по-видимому, с модификационными превращениями  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**Заключение.** Изучив процессы, протекающие в шихтовых боро- и алюмосиликатных композициях, включающих оксиды железа и никеля, можно сделать следующие выводы:

в алюмосиликатных шихтах, включающих оксид никеля, процессы силикатообразования протекают при более высоких температурах, чем это происходит в соответствующих композициях, включающих оксид железа;

появление жидкой фазы в боросиликатных шихтовых композициях отмечается при более низких температурах, чем в случае алюмосиликатных шихтовых композиций, что вызвано невысокой температурой плавления оксида бора (~450 °С) в сравнении с данным показателем для  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

#### Список литературы

1. Гулюян, Ю.А. Физико-химические основы технологии стекла [Текст] / А.Ю. Гулюян. – Владимир: «Транзит-ИКС», 2008. – 736 с.
2. Сивко, А.П. Технология электролампового стекла [Текст] / А.П. Сивко. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2015. – 624 с.
3. ГОСТ 5100-85. Сода кальцинированная техническая [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
4. ГОСТ 18704-78. Кислота борная [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 33 с.
5. ГОСТ 22551-77. Песок кварцевый [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 10 с.
6. ГОСТ 6912-87. Глинозем. Технические условия [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 7 с.
7. ТУ 6-09-5346-87 Никеля закись. Технические условия [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1992 – 8 с.
8. Бубнова, Р.С. Высокотемпературная кристаллохимия боратов и боросиликатов [Текст] / Р.С. Бубнова, С.К. Филатов. – СПб: Наука, 2008. – 760 с.
9. Гзогян, Т.Н. Состав и свойства магнетита Михайловского месторождения [Текст] / Т.Н. Гзогян // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – №12. – С. 20-25.
10. Бетехтин, А.Г. Курс минералогии [Текст] / А.Г. Бетехтин. – М.: КДУ, Добросвет, 2018. – 736 с.
11. Юрьев, Б.П. Основы теории процессов при обжиге железорудных окатышей [Текст] / Б.П. Юрьев [и др.]. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2018. – 310 с.
12. Misen, B. Silicate glasses and melts. – Amsterdam: Elsevier, 2018. – 720 p.
13. Scholze, H. Glass: nature, structure, and properties. – Springer-Verlag: New York, 1991. – 454 p.
14. Пархомей, А.Р. Получение и основные свойства натрийборосиликатного стекла [Текст] / А.Р. Пархомей [и др.] // Современные проблемы физического материаловедения: сб. науч. тр. – Киев: ИПМ НАН України, 2015. – Вып. 24. – С. 108-119.

15. Бубнова, Р.С. Кристаллическая структура и термическое поведение  $\text{KB}_3\text{O}_5$  [Текст] / Р.С. Бубнова [и др.] // Доклады РАН. – 2004. – Т. 398. – № 5. – С. 249-253.

Материал поступил в редакцию 15.11.23.

М.В. Дяденко<sup>1</sup>, И.А. Левицкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Беларусь мемлекеттік технологиялық университеті,  
Минск қ., Беларусь Республикасы

#### ҚҰРАМЫНДА ТЕМІР ЖӘНЕ НИКЕЛЬ ОКСИДТЕРІ БАР ШИХТАЛАРДАҒЫ ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Аңдатпа.** Темір және никель оксидтерінің сілтілі боро-және алюмосиликатты шихта композицияларындағы силикат түзілу процестеріне салыстырмалы әсерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Әр түрлі температурада термиялық өңделген шихта қоспаларының сипаттамасы мен сыртқы түрі келтірілген. Көрсетілген шихта композицияларының рентгендік фазалық талдауының нәтижелері және оларды қыздыру процесінде кристалдық фазалардың қалыптасу ерекшеліктері келтірілген. Дифференциалды сканерлеу калориметриясы әдісімен сілтілі боро-және алюмосиликатты шикізат композицияларында болатын физикалық-химиялық процестер егжей-тегжейлі зерттелді, сондай-ақ  $\text{NiO}$  және  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  оксидтерінің зерттелетін шихталардағы олардың ағу заңдылықтарына салыстырмалы әсері анықталды.

**Тірек сөздер:** шихта, физикалық-химиялық процестер, темір оксиді, никель оксиді, сұйық фаза, кристалдық фаза, гематит, дифференциалды сканерлеу калориметриясы, силикат түзілуі.

M.V. Dyadenko<sup>1</sup>, I.A. Levitskii<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

#### FEATURES OF THE PASSING OF PHYSICO-CHEMICAL PROCESS-ES IN CHARGES CONTAINING IRON AND NICKEL OXIDES

**Abstract.** The results of the study of the comparative effect of iron and nickel oxides on the processes of silicate formation in alkaline boro- and aluminosilicate charge compositions are presented. The characteristics and appearance of charge mix-tures heat-treated at different temperatures are presented. The results of X-ray phase analysis of these charge compositions and the features of the formation of crystalline phases during their heating are presented. The physicochemical processes in alkaline boron and aluminosilicate raw materials compositions have been studied in detail by differential scanning calorimetry. The comparative influence of  $\text{NiO}$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oxides on the dependence of the passing of chemical and physico-chemical processes in the studied charges has been determined.

**Keywords:** charge, physical-chemical processes, iron oxide, nickel oxide, liquid phase, crystalline phase, hematite, differential scanning calorimetry, silicate formation.

#### References

1. Guloyan, YU.A. Fiziko-himicheskie osnovy tekhnologii stekla [Physico-chemical fundamentals of glass technology]. – Vladimir: «Tranzit-IKS», 2008. – 736 p. [In Russian].



2. Sivko, A.P. Tekhnologiya elektrolampovogo stekla [Electric lamp glass technology]. – Saransk: Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2015. – 624 p. [In Russian].
3. GOST 5100-85 Soda kal'cinirovannaya tekhnicheskaya [Soda ash technical]. – Moscow: Izd-vo standartov, 1985. – 8 p. [In Russian].
4. GOST 18704-78 Kislota bornaya [Boric acid]. – Moscow: Izd-vo standartov, 1980. – 33 p. [In Russian].
5. GOST 22551-77 Pesok kvarcevyj [Quartz sand]. – Moscow: Izd-vo standartov, 1979. – 10 p. [In Russian].
6. GOST 6912-87 Glinozem. Tekhnicheskie usloviya [Alumina. Technical specifications]. – Moscow: Izd-vo standartov, 1987. – 7 p. [In Russian].
7. TU 6-09-5346-87 Nikelya zakis'. Tekhnicheskie usloviya [Nickel nitrous oxide. Technical conditions]. – Moscow: Izd. standartov, 1992 – 8 p. [In Russian]
8. Bubnova, R.S. Vysokotemperaturnaya kristallohimiya boratov i borosilikatov [High-temperature crystal chemistry of borates and borosilicates]. – SPb: Nauka. 2008. – 760 p. [In Russian].
9. Gzogyan T.N. Sostav i svoystva magnetita Mihajlovskogo mestorozhdeniya [Composition and properties of magnetite of the Mikhailovsky deposit] // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' [Mining information and Analytical Bulletin]. 2001. No.12. P. 20-25. [In Russian].
10. Betekhtin, A.G. Kurs mineralogii [Course of mineralogy]. – Moscow: KDU, Dobrosvet, 2018. – 736 p. [In Russian].
11. YUr'ev, B.P. Osnovy teorii processov pri obzhige zhelezorudnyh okatyshej [Fundamentals of the theory of processes in the firing of iron ore pellets]. – Nizhnij Tagil: NTI (filial) UrFU, 2018. – 310 p. [In Russian].
12. Misen, B., Richet P. Silicate glasses and melts / B. Misen,. – Amsterdam: Elsevier, 2018. – 720 p.
13. Scholze, H. Glass: nature, structure, and properties /. – Springer-Verlag: New York, 1991. – 454 p.
14. Parhomej, A.R. Poluchenie i osnovnye svoystva natrijborosilikatnogo stekla [Obtaining and basic properties of sodium borosilicate glass] // Sovremennye problemy fizicheskogo materialovedeniya [Modern problems of physical materials science]: sb. nauch. tr. – Kiev: IPM NAN Ukraïni, 2015. Vol.24. P. 108-119. [In Russian].
15. Bubnova, R.S. Kristallicheskaya struktura i termicheskoe povedenie  $\text{KB}_3\text{O}_5$  [Crystal structure and thermal behavior of  $\text{KB}_3\text{O}_5$ ] // Doklady RAN. 2004. T. 398. No. 5. P. 249-253. [In Russian].