



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО  
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2012, ТОМ 8, НОМЕР 3, 137–148

УДК 666.189.3+691.699.86

## ВИКОРИСТАННЯ КРЕМНЕЗЕМУТРИМУВАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПІНЮВАННЯ

А. Л. Віницький<sup>а</sup>, Г. К. Рябов<sup>б</sup>, Н. О. Сеник<sup>а</sup>, О. В. Мешков<sup>а</sup>,  
Ю. О. Коростельова<sup>б</sup>, К. Г. Фетюхіна<sup>б</sup>

<sup>а</sup> ТОВ Науково-технологічний центр «Силікатні матеріали та технології»,  
м. Інза, Росія.

<sup>б</sup> ТОВ Виробничо-інвестиційна компанія «Діатоміт-Інвест»,  
м. Ульяновськ, Росія.

E-mail: secret@diatomit.mv.ru, alisagk@mv.ru

Отримана 7 серпня 2012; прийнята 21 вересня 2012.

**Анотація.** Гранульоване піноскло є ефективним теплоізоляційним матеріалом на основі природної сировини. Його отримання за технологією низькотемпературного спінювання, що виключає попереднє варіння скла або використання склобою, включає стадії сушіння і помелу діатомітової породи Інзенського родовища (Ульянівська область), змішування продукту подрібнення з каустичною содою, водним розчином гідроксиду натрію і рідкої пороутворювальної суміші (гліцерин) в інтенсивному змішувачі-грануляторі, формування гранул, їх сушіння при температурі 125 °С і спінювання при температурі 800 °С. Вибір діатоміту як кремнеземистого компонента для одержання теплоізоляційних заповнювачів і наповнювачів за технологією низькотемпературного спучування обумовлений високим вмістом кремнезему в породі, постійністю складу і пористою наноструктурою (середній розмір пор від 0,1 мкм до 1–2 мкм). Отриманий теплоізоляційний склокристалічний гранульований матеріал за якістю (густини, міцності і теплопровідності) не поступається кращим зарубіжним зразкам. Робота виконана в рамках реалізації договору 13.G.25.31.0092 від 22.10.2010 р. між МІНОСВІТИНАУКИ РФ і ТОВ «Діатоміт-комбінат».

**Ключові слова:** діатоміт, низькотемпературне спінення, теплоізоляційний матеріал, гранульоване піноскло.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВСПЕНИВАНИЯ

А. Л. Виноцкий<sup>а</sup>, Г. К. Рябов<sup>б</sup>, Н. А. Сеник<sup>а</sup>, А. В. Мешков<sup>а</sup>,  
Ю. А. Коростелёва<sup>б</sup>, Е. Г. Фетюхина<sup>б</sup>

<sup>а</sup> ООО Научно-технологический центр «Силикатные материалы и технологии»,  
г. Инза, Россия.

<sup>б</sup> ООО Производственно-инвестиционная компания «Диадомит-Инвест»,  
г. Ульяновск, Россия.

E-mail: secret@diatomit.mv.ru, alisagk@mv.ru

Получена 7 августа 2012; принята 21 сентября 2012.

**Аннотация.** Гранулированное пеностекло является эффективным теплоизоляционным материалом на основе природного сырья. Его получение по технологии низкотемпературного вспенивания, исключает предварительную варку стекла или использование стеклобой, включает стадии сушки и помола

диатомитовой породы Инзенского месторождения (Ульяновская область), смешивания продукта измельчения с каустической содой, водным раствором гидроксида натрия и жидкой порообразующей смесью (глицерин) в интенсивном-смесителе грануляторе, формование гранул, их сушку при температуре 125 °С и вспенивание при температуре 800 °С. Выбор диатомита в качестве кремнеземистого компонента для получения теплоизоляционных заполнителей и наполнителей по технологии низкотемпературного вспучивания обусловлен высоким содержанием кремнезема в породе, постоянством состава и пористой наноструктурой (средний размер пор от 0,1 мкм до 1–2 мкм). Полученный теплоизоляционный стеклокристаллический гранулированный материал по качеству (плотности, прочности и теплопроводности) не уступает лучшим зарубежным образцам. Работа выполнена в рамках реализации договора 13.G.25.31.0092 от 22.10.2010 г. между МИНОБРНАУКА РФ и ООО «Диатомовый комбинат».

**Ключевые слова:** диатомит, низкотемпературное вспенивание, теплоизоляционный материал, гранулированное пеностекло.

## SILICEOUS RAW MATERIAL IN MANUFACTURING OF GRANULATED INSULATION MATERIALS ON THE TECHNOLOGY OF LOW-TEMPERATURE FOAMING

Arkadiy Vinitskiy <sup>a</sup>, Georgiy Ryabov <sup>b</sup>, Nina Senik <sup>a</sup>, Alexander Meshkov <sup>a</sup>, Julia Korostelyova <sup>b</sup>, Ekaterina Fetyuhina <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Scientific and Technological Center «Silicate materials and technologies»,  
Inza, Russia.

<sup>b</sup> Industrial Investment Company «Diatomit-Invest» LLC,  
Ulyanovsk, Russia  
E-mail: denissovev@ukr.net

Received 7 August 2012; accepted 21 September 2012.

**Abstract.** Granulated foam glass is an effective insulation material based on natural raw materials. Its manufacturing on the technology of low temperature foaming, excluding pre-melting of glass or the use of scrap and waste glass, comprises the steps of drying and grinding of diatomite rock of Inza deposit (Ulyanovsk region), mixing the crushing product with a caustic soda, sodium hydroxide aqueous solution and the pore-forming liquid mixture (glycerin) in the intensive-mixer granulator for forming of granulated material, its drying at a temperature of 125 °C and foaming at the temperature of 800 °C. The choice of diatomite as a silica component for insulating filling agents on the technology of low temperature swelling is caused by a high content of silica in the rock, the constancy of the composition and porous nanostructure (average pore size is of 0.1 to 1–2 microns). The quality (density, strength and thermal conductivity characteristics) of the developed heat-insulating crystalline granulated material is comparable to the best foreign models. The work was released within the contract № 13.G.25.31.0092 dated 22.10.2010 between the Ministry of Education of the Russian Federation and Diatomovy Kombinat.

**Keywords:** diatomaceous earth (diatomite), low-temperature foaming, thermal insulation material, granulated foam glass.

### Введение

Пористые гранулированные материалы на основе природного и техногенного сырья используются в качестве эффективной теплоизоляционной засыпки или заполнителя при производстве легких бетонов.

В России наибольшее распространение получил керамзит как наиболее доступное, качественное и

экологически безопасное сырье. Но его обжиг производят при температуре 1180–1250 °С [1]. Приоритетным направлением разработки новых технологий производства строительных материалов является снижение энергетических затрат на всех этапах производства. Поэтому наиболее перспективным представляется использование теплоизоляционных материалов, получаемых по низкотемпературным технологиям.

Таким альтернативным видом теплоизоляционных материалов может стать гранулированное пеностекло – пористый негорючий неорганический силикатный материал. Он также обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, но изготавливается по низкотемпературной технологии.

На сегодняшний день наиболее известным мировым производителем гранулированного пеностекла является немецкая компания Dennert Poraver. Но производство пеностеклогранулята Poraver основано на использовании в качестве основного сырья вторичного стекольного боя. Такая технология в России имеет ограничения в виду дефицитности исходного сырья, а целенаправленная варка стекла необходимого состава увеличивает стоимость конечного продукта.

Поэтому вызывает большой интерес получение гранулированного теплоизоляционного материала по технологии низкотемпературного вспенивания, исключающей предварительную варку стекла или использование стеклобоя.

Это определяет необходимость использования в качестве основного сырьевого компонента аморфного кремнеземистого сырья, в частности диатомитовых пород, обладающих более стабильным химико-минералогическим составом (таблица 1) по сравнению с другими кремнистыми породами (опоки, трепелы, перлиты, пехштейны, спонголиты и радиоляриты) [2].

### 1. Особенности диатомита, обуславливающие его использование в качестве основного компонента при производстве пеностеклогранулята

Диатомиты – легкие тонкопористые породы, сложенные в основной массе мельчайшими опаловыми створками (или их обломками) диатомовых водорослей – диатомей [2, 3, 5]. Окраска диатомитов белая, желтовато-серая, светло-серая, иногда темно-серая, и буровато-серая. Главнейшая часть кремнеземистого панциря (скелета) – гидраты кремнезема различной

степени водности – опалы вида  $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Сохранение цельных створок служит одним из показателей качества диатомита, однако эта закономерность может не выдерживаться, поскольку размер створок изменяется в широких пределах. Но химический состав диатомитовых пород достаточно стабилен (табл. 1), что наряду с высоким содержанием диоксида кремния обуславливает его использование в качестве основного компонента при производстве гранулированного пеностекла.

Кроме того, диатомит обладает большой пористостью, малой плотностью, что объясняет его высокие теплоизоляционные свойства.

Такие особенности диатомита связаны с его микроструктурой, которая изучалась нами на примере диатомита Инзенского месторождения (Ульяновская область). В ходе исследования были сделаны микроснимки диатомита, высушенного при температуре 250 °С с помощью сканирующего электронного микроскопа «Jeol JSM-6480LV» с вольфрамовым термоэмиссионным катодом и энергодисперсионного спектрометра «INCA-Energy 350» с SiLi полупроводниковым детектором площадью 10 мм<sup>2</sup> и сверхтонким окном ATW-2 (разрешение 129 эВ на K $\alpha$  Mn) в лаборатории локальных методов исследования вещества геологического факультета МГУ. На этих снимках (рисунок 1) отчетливо видно наличие цельных скелетов диатомей и разбитых створок, а также частиц инородных (примесных) минералов (рисунок 1а). Размеры пор в скелетах диатомита составляют 0,75–1500 мкм (рисунок 1б), что дает основание относить диатомит к наноматериалам. Наноструктурой и высокой пористостью обеспечиваются низкая плотность диатомита и, соответственно, его высокие теплоизолирующие характеристики.

Как уже было сказано выше, диатомит обладает стабильным, по сравнению с другими кремнеземосодержащими породами, химическим составом и высоким содержанием диоксида кремния. Оксидный состав диатомита Инзенского месторождения представлен в таблице 2.

**Таблица 1.** Границы варьирования химического состава природного аморфного кремнеземистого сырья

Сырье	Содержание оксидов, % масс.						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	$\Delta m_{\text{прк}}$
Опоки	52,1–91,4	2,5–15,4	1,0–5,0	0,43–17,1	0,08–2,48	0,6–4,0	1,5–16,8
Трепелы	35,3–86,7	2,5–11,6	0,3–3,4	0,4–31,2	0,2–1,6	0,85–2,1	4,5–11,6
Диатомиты	77,7–83,1	3,3–6,0	1,8–3,5	0,3–0,6	0,6–1,1	0,8–1,5	3,7–8,8

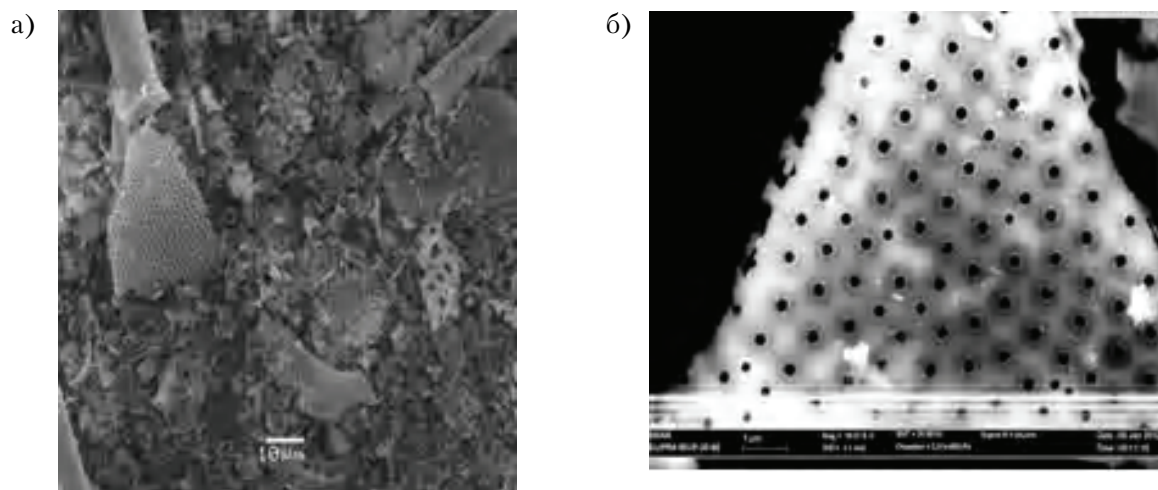


Рисунок 1. Электронные микроснимки диатомита, высушенного при 250 °С.

Таблица 2. Химический состав диатомитовой породы Инзенского месторождения

Порода	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	m <sub>прк</sub>
диатомитовая порода	83,00	5,62	2,59	0,34	0,36	0,68	0,93	0,07	6,27

Определение минерального состава породы выполнено с помощью рентгенофазового анализа. На рентгенограмме (рисунок 2) имеется «галло» в области малых и средних углов, что свидетельствует о высокой степени аморфизации основных составляющих породы; подтверждением этому служит и характер дифракционных отражений – они имеют размытый «стертый» максимум, а в некоторых случаях полуширина отражения соизмерима с его высотой.

При расшифровке рентгенограммы установлено, что кристаллическая составляющая представлена кварцем (0,426; 0,335 и 0,182 нм), а глинистая – монтмориллонитом (1,44 нм), каолинитом (0,717 нм), гидрослюдами (0,100 и 0,498 нм) и полевым шпатом (0,3201 нм). Количественный рентгеновский метод позволил выявить, что массовая доля аморфной кремнеземистой фазы составляет 73 %, доля кристаллического кварца – 6 %, монтмориллонита – 10 %, слюды – 7 %, полевого шпата – 1 %, других примесей – 3 %.

Известно, что при ИК-спектроскопическом анализе все разновидности кремнеземистого сырья обнаруживают основные полосы поглощения в одних и тех же областях: интенсивную полосу при 1200–1000 см<sup>-1</sup>, относящуюся к валентным

и деформационным O – Si – O и Si – O – Si колебаниям тетраэдров кремнекислородного каркаса, менее интенсивную полосу-дублет в области 830–750 см<sup>-1</sup>, обусловленную Si – O – Si колебаниями колец из SiO<sub>4</sub>-тетраэдров, и сильные полосы поглощения около 530 и 460 см<sup>-1</sup>, отнесенные к деформационным колебаниям SiO<sub>4</sub>-тетра-

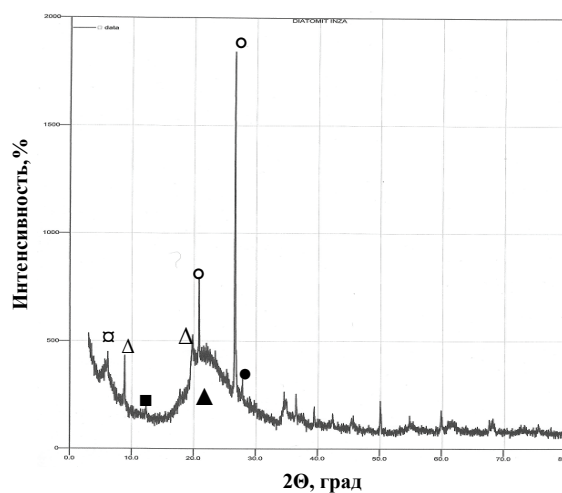


Рисунок 2. Рентгеновская дифрактограмма диатомита Инзенского месторождения: □ – монтмориллонит; △ – слюда; ■ – каолинит; ○ – кварц; ▲ – аморфное галло; ● – полевые шпаты.

здров. Установлено, что ИК-спектр исследуемой диатомитовой породы характерен для скрытокристаллических и аморфизированных форм кремнезема, что проявляется в диффузности и небольшой интенсивности его полос поглощения (рисунок 3).

Присутствие  $\beta$ -кварца обнаруживается по специфическим полосам при 1167, 784, 695 и 526  $\text{см}^{-1}$  (в особенности по двум последним). Кроме того, особенностью ИК – спектров анализируемого кремнеземистого сырья – диатомитовой породы явилось проявление молекулярной воды (в виде полос поглощения в области 3750–3500 и 1580–1600  $\text{см}^{-1}$ ), наличие которой в аморфных и скрытокристаллических формах кремнезема (в данном случае в составе диатомита) согласуется с большой рыхлостью их структуры с довольно большими пустотами, достаточными для размещения в них молекул воды.

Таким образом, природная дисперсность диатомита, минералогические особенности, физико-химические и технологические свойства определяют перспективность использования его как кремнеземистого компонента для получения теплоизоляционных заполнителей и наполнителей по технологии низкотемпературного вспучивания, что позволит ввести в промышленный оборот колоссальные запасы аморфного кремнеземистого материала и восполнить дефицит качественных строительных материалов.

## 2. Выбор базового состава диатомитовой шихты

Одним из известных способов получения пено-стеклокристаллических материалов по технологии низкотемпературного вспучивания на основе природного алюмосиликатного сырья (цеолита) является использование водного раствора NaOH в смеси с цеолитизированным туфом [4].

В проведенных нами исследованиях основными компонентами шихты являются инзенский диатомит, гидрооксид натрия, газообразователь (глицерин) и вода.

С целью выбора базового состава диатомитовой шихты для получения гранулированного пеностекла был проведен анализ фазовой диаграммы трехкомпонентной системы  $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  (рисунок 4а), нанесена соответствующая точка композиции и построена кривая ее плавкости (рисунок 4б).

Для обеспечения пиропластического состояния массы на стадии вспенивания, количество расплава должно быть не менее 70 %, что достигается, согласно кривой плавкости, уже при 740 °С (за счет введения каустической соды в состав).

## 3. Технология получения гранулированного пеностекла

Получение гранулированного материала проводилось по схеме, включающей стадии сушки и

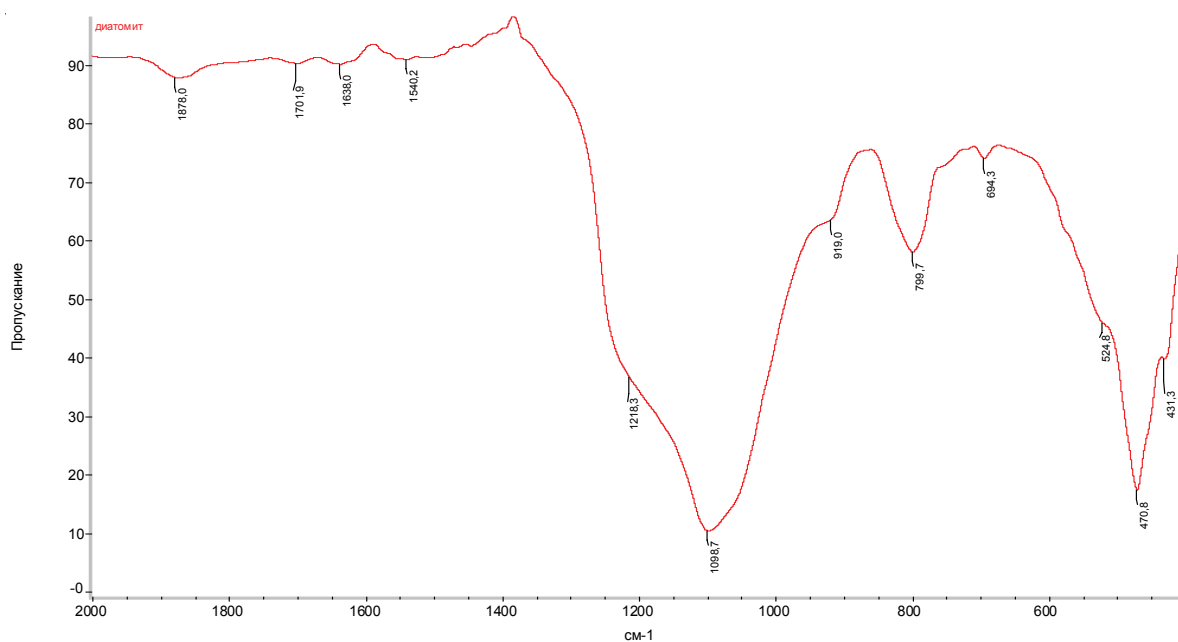
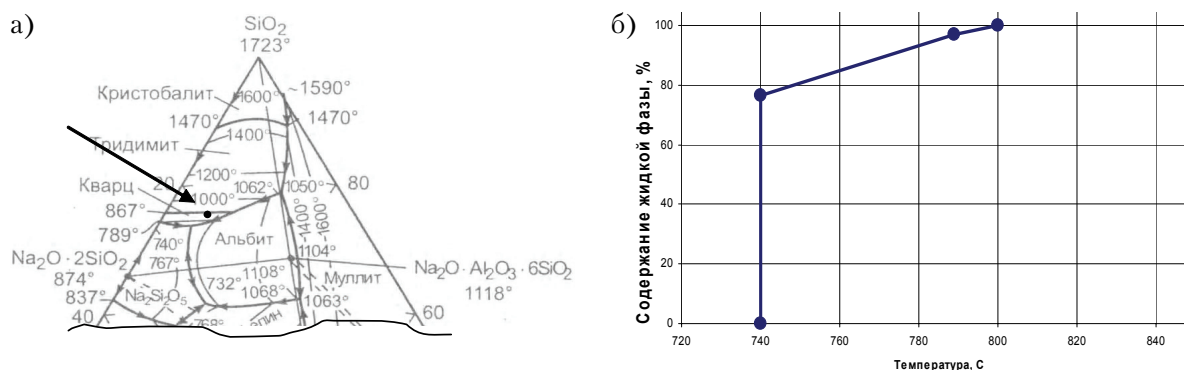


Рисунок 3. ИК-спектр поглощения диатомитовой породы.



**Рисунок 4.** К анализу фазовой диаграммы трехкомпонентной системы Na<sub>2</sub>O – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub>: а) фрагмент диаграммы состояния системы Na<sub>2</sub>O – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub>; б) кривая плавкости исследуемого состава в системе Na<sub>2</sub>O – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub>.

помола исходного сырья (диатомитовой породы), смешивания продукта измельчения с каустической содой (гидроксидом натрия) и жидкой порообразующей смесью в интенсивном смесителе-грануляторе, формования гранул, их сушки при температуре 125 °С и вспенивания при температуре 800 °С.

### 3.1 Подготовка исходного сырья

Подготовка исходного сырья – одна из значимых стадий процесса получения стеклокристаллического гранулята, причем имеет значение не только дисперсность сырья, но и форма частиц получаемого материала.

В качестве способов измельчения были опробованы тонкий помол в сепарационной мельнице ударно-отражательным способом, а также измельчение в роликовой и ударной мельницах.

На рисунке 5 представлены форма и размеры частиц продуктов измельчения диатомита.

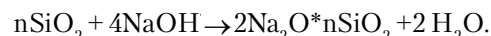
### 3.2 Формование гранул

Для предлагаемой технологии необходимыми условиями процесса формования гранул являются:

- а) соблюдение точной последовательности операций смешивания компонентов шихты: газообразователь смешивается с водой, затем жидкая порообразующая смесь добавляется к измельченному диатомиту, что позволяет модифицировать поверхность диатомита за счет образования на ней защитных водоглицериновых пленок, способствующих более однородному распределению газообразователя в смеси;

- б) соблюдение температурного режима экзотермической реакции щелочи с водой в пределах 74–76 °С при смешивании композиции диатомит – газообразователь с водным раствором гидроксида натрия.

Регламентируемые условия обеспечивают протекание основной реакции химического взаимодействия аморфного кремнезема с водным раствором гидроксида натрия уже при температуре 70–80 °С с образованием гидрозоля силиката натрия (жидкого стекла) по реакции:



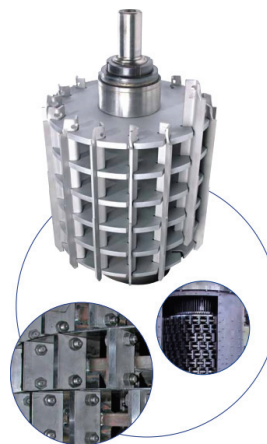
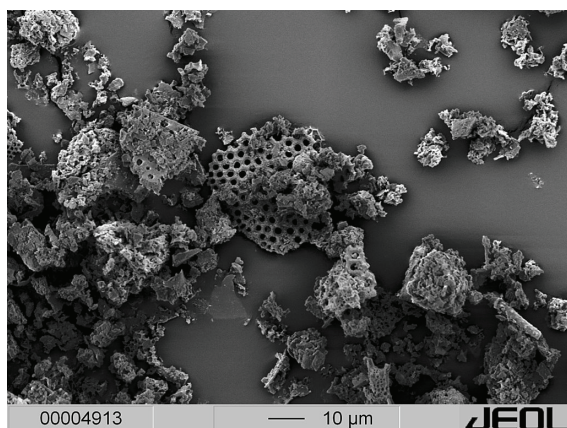
### 3.3 Сушка гранул

Процесс сушки гранулята рекомендуется проводить в присутствии осушителей. С этой целью нами был выбран глицерин. Он непосредственно влияет на все стадии процесса перехода золь кремнезема и силикатов натрия в их гели, уменьшая межфазное натяжение в порах и снижая действие капиллярных сил при сушке.

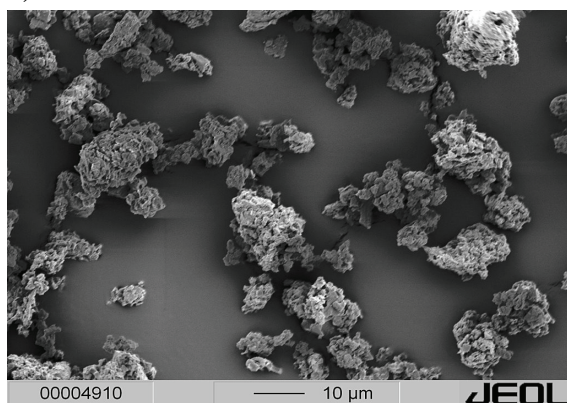
Термический анализ плавного нагревания до 850 °С исходной шихты (рисунок 6) свидетельствует о ее непрерывной ступенчатой дегидратации. В интервале температур 20–100 °С потери массы шихты составляли 7,2 %, в интервале 100–400 °С – 8,6 %. Также анализ кривой ДТА позволяет отметить эндотермический эффект процесса дегидратации с минимумом в точке 73 °С. При этом наблюдается удаление и физически адсорбированной воды, и удаления молекул воды, связанных водородными связями с силикатами натрия. Потери массы в интервале температур 600–800 °С в количестве 1,9 % обусловлены



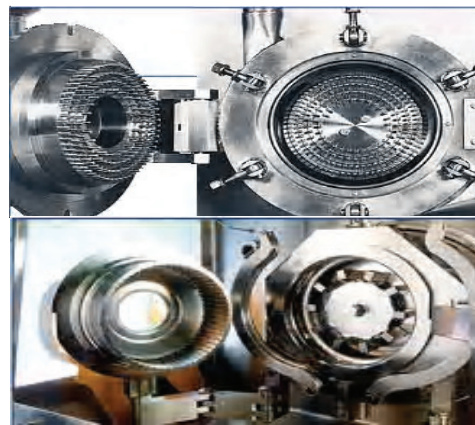
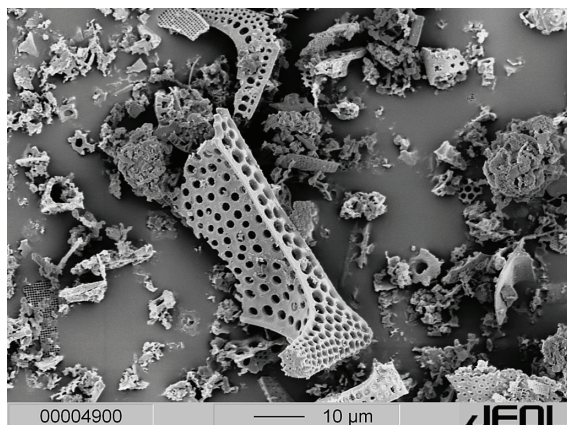
а)



б)



в)



**Рисунок 5.** Влияние вида помольного оборудования на размер и форму частиц измельченного диатомита: а) тонкий помол в сепарационной мельнице ударно-отражательным способом, б) измельчение в роликовой мельнице, в) измельчение в ударной мельнице.

процессами газовыделения за счет разложения порообразующего компонента шихты (глицерина).

### 3.4 Вспучивание гранул

Вспучивание высушенных гранул проводилось при температуре 800 °С. Формирование порис-

той структуры происходит равномерно во всем объеме, а не послойно, поскольку это связано с быстрым прогревом зерен и выравниванием температурных полей по сечению гранулята, что позволят предотвратить появление крупных пустот в центре гранулы и получить равномерную мелкопористую структуру.

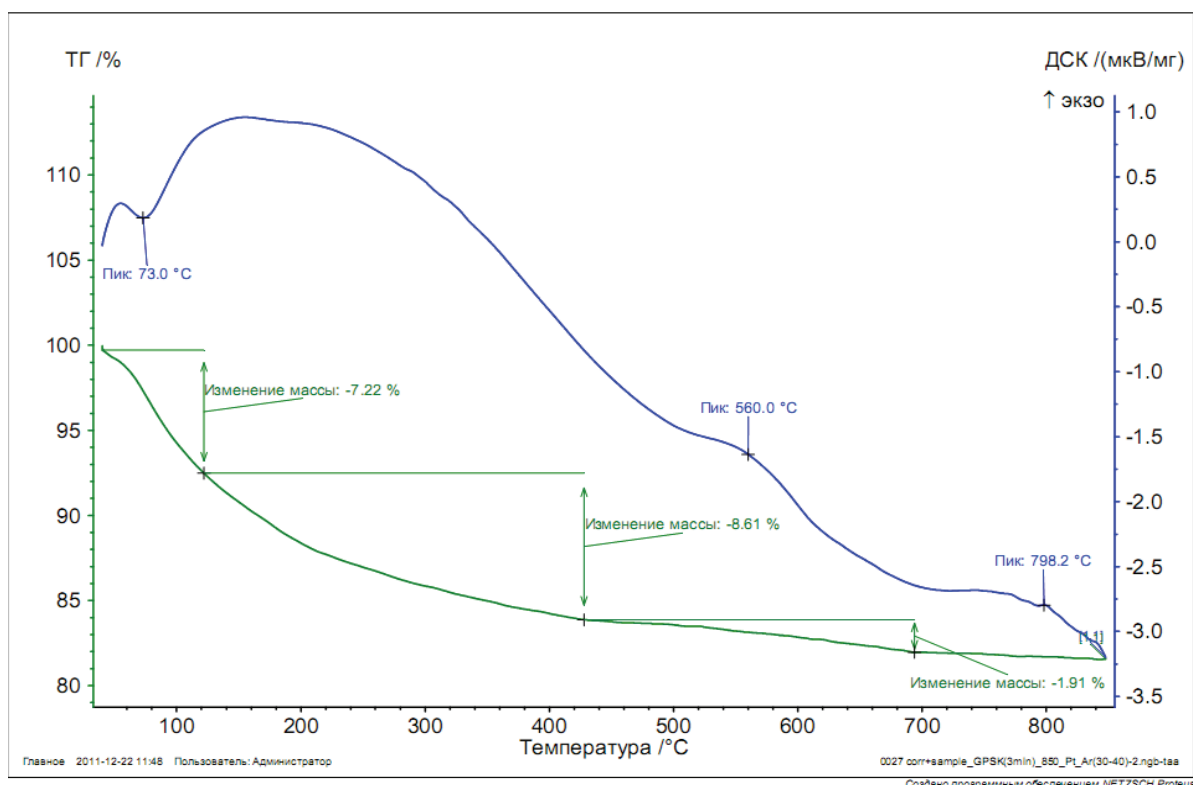


Рисунок 6. ДСК-анализ шихты для получения стеклогранулята.

По данным рентгеновского анализа фазовый состав полученного стеклокристаллического гранулята представлен в основном кварцем, т. е. не вступившей в реакцию взаимодействия с гидроксидом натрия кристаллической кремнеземистой составляющей диатомитовой породы.

#### 4. Основные характеристики гранулированного пеностекла, полученного низкотемпературным способом

Оценка свойств готового продукта по ГОСТ 9758-86 «Заполнители пористые неорганические

для строительных работ» (таблица 4) и сопоставление их со свойствами известного мирового аналога (таблица 5), свидетельствует о том, что полученный теплоизоляционный стеклокристаллический гранулированный материал по качеству (плотности, прочности и теплопроводности) не уступает лучшим зарубежным образцам.

#### Заключение

Таким образом, разработанная технология получения высокопористого теплоизоляционного гранулированного материала на основе диатомита позволяет организовать производство легких

Таблица 4. Характеристики пеностеклокристаллического материала на основе диатомита

Объект	Фракционный состав	Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м•К	Механическая прочность в насыщенном состоянии, МПа
Гранулированное пеностекло	4,0–8,0 мм	180±20	0,068 <sup>+0,005</sup>	1,0–1,2
	2,0–4,0 мм	190±20	0,070 <sup>+0,005</sup>	1,2–1,4
	1,0–2,0 мм	230±30	0,073 <sup>+0,005</sup>	1,5–1,8
	0,5–1,0 мм	270±30	0,075 <sup>+0,005</sup>	1,8–2,2
	0,25–0,50 мм	310±50	0,077 <sup>+0,005</sup>	2,2–2,6
	0,10–0,25 мм	370±60	0,082 <sup>+0,005</sup>	2,6–3,0



Таблица 5. Свойства пеностеклокристаллического материала и зарубежного аналога

Наименование характеристик	Гранулированное пеностекло DENNERT PORAVER	Гранулированное пеностекло ООО НТЦ «СМиТ»
Насыпная масса, кг/м <sup>3</sup>	160–500	160–500
Механическая прочность, МПа	1,2–2,8	1,0–3,0
Теплопроводность, Вт/м*К	0,07–0,09	0,06–0,09

пористых заполнителей и наполнителей непосредственно вблизи источника сырья, сократить импорт и увеличить экспорт продукции, полученной по энергосберегающей низкотемпературной технологии, а также ввести в оборот запасы аморфного кремнеземистого сырья для воспол-

нения дефицита качественного сырья по производству стекольной шихты.

*Работа выполнена в рамках реализации договора 13.G.25.31.0092 от 22.10.2010 между Министерством образования РФ и ООО «Диатомовый комбинат».*

## Литература

1. Будов, В. В. Минеральное сырье для стекольной промышленности [Текст] / В. В. Будов // Стеклянная тара. – 2009. – № 2. – С. 18–21.
2. Кремнистые породы СССР (диатомиты, опоки, трепелы, спонголиты, радиоляриты) [Текст] / Под ред. У. Г. Дистанова. – Казань : Татарское книгоиздательство, 1976. – 412 с.
3. Иванов, С. Э. Диатомит и области его применения [Текст] / С. Э. Иванов, А. В. Беляков // Стеклянная тара. – 2008. – № 2. – С. 18–21.
4. Пат. 2272007 Российская Федерация, МПК С 03 С 11/00. Шихта для производства пеноцеолита [Текст] / В. И. Верещагин, С. Н. Соколова, Л. К. Казанцева ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет. – № 2004127318/03 ; заявл. 13.09.2004 ; опубл. 20.03.2006, Бюл. № 8. – 3 с.
5. Диатомитовое сырье для стекольной промышленности [Текст] / Е. А. Никифоров, С. А. Нестерова, Е. Г. Фетюхина, Н. А. Сеник // Технология стекла. Справочные материалы / Под редакцией П. Д. Саркисова, В. Е. Маневича, В. Ф. Солинова, К. Ю. Субботина. – М. : Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, 2012. – 648 с.
6. Кремнистые породы СССР [Текст] / Отв. ред. У. Г. Дистанов. – Казань : Татарское кн. изд-во, 1976. – 412 с.
7. Баранова, М. Н. Возможности получения заполнителей бетонов из кремнистых пород [Текст] / М. Н. Баранова // Новые технологии строительного производства и систем транспортирования газа : Труды Самарского филиала секции «Строительство» Российской Инженерной Академии / Самарский филиал секции «Строительство» РИА. – Самара, 1996. – Вып. 4. – С. 169–174.

## References

1. Budov, V. V. Mineral raw materials for glass industry. In: *Glass container*, 2009, No. 2, p. 18–21. (in Russian)
2. Hornstones of USSR (diatomites, box forms, tripoli powder, spongolites, radiolarites) Edited by U. G. Distanov. Kazan: Tatarian book office, 1976. 412 p. (in Russian)
3. Ivanov, S. E.; Beliakov, A. V. Diatomite and its application domain. In: *Glass and ceramic*, 2008, No. 2, p. 18–21. (in Russian)
4. Vereshchagin, V. I.; Sokolova, S. N.; Kazantseva, L. K. Patent 2272007 Russian, Charge for foam-zeolite production. No. 2004127318/03; declaration 13.09.2004; declaration 20.03.2006, Bul. No. 8. 3 p. (in Russian)
5. Nikiforov, E. A.; Nesterova, S. A.; Fetiuhina, E. G.; Senik, N. A. Diatomite raw material for glass industry. In: *Glass processing. Reference materials*. Edited by Sarkisov, P. D.; Manevich, V. E.; Solinov, V. F.; Subbotin, K. Yu. Moscow: D.I. Mendeleev Russian Chemical and Engineering University, 2012. 648 p. (in Russian)
6. Distanov, U. G. (Ed.) Hornstones of USSR. Kazan: Tatarian book office, 1976. 412 p. (in Russian)
7. Baranova, M. N. Production possibility of concrete filler from hornstones. In: *Works of Samarsk filial branch of building section «Modern technique of construction operations and systems of gas transportiration»*. Samara, 1996, Issue 4, p. 169–174. (in Russian)
8. Iler, Ralph K. The Chemistry of Silica: Solubility, Polymenization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica. Moscow: World, 1982. 712 p. (in Russian)
9. Hovorova, I. V.; Dmitruk, A. L. Microstructure of hornstones. Moscow: Science, 1972. 84 p. (in Russian)
10. Plenkin, A. P. Researches of refuse stones in building materials and natural sorbents production. In: *Collection of scientific papers. Opalites of Western Siberia*. Tiumen: ZapSibNIGNI, 1987. p. 119. (in Russian)

8. Айлер Р. Химия кремнезема [Текст] : пер. с англ. В 2-х ч. Ч. 2 / Р. Айлер. – М. : Мир, 1982. – 712 с.
9. Хворова, И. В. Микроструктуры кремнистых пород [Текст] / И. В. Хворова, А. Л. Дмитрук. – М. : Наука, 1972. – 84 с.
10. Пленкин, А. П. Исследование опал-кристаллитовых пород в производстве строительных материалов и природных сорбентов [Текст] / А. П. Пленкин // Опалиты Западной Сибири : сборник научных трудов / Зап.-Сиб. н.-и. геол.-развед. нефт. ин-т ; ред. П. П. Генералов. – Тюмень : ЗапСибНИГНИ, 1987. – С. 119.
11. Иваненко, В. Н. Строительные материалы и изделия из кремнистых пород [Текст] / В. Н. Иваненко. – К. : Будівельник, 1978. – 120 с.
12. Крупин, А. А. Искусственные пористые заполнители из кремнистых опаловых пород [Текст] / А. А. Крупин // Строительные материалы. – 1975. – № 8. – С. 7–8.
13. Усанова, Е. П. Исследование процессов фазообразования и структурных изменений в опоках при обжиге с целью возможности их использования для получения пористых заполнителей [Текст] / Е. П. Усанова, Г. А. Петрихина, Г. И. Коношенко // Расширение сырьевой базы производства керамических стеновых изделий, дренажных труб и искусственных пористых заполнителей : Сборник трудов / Гос. ВНИИ строит. материалов и конструкций им. П. П. Будникова ; [Редкол.: П. Н. Хорьков (отв. ред.) и др.]. – М. : ВНИИ-стром, 1982. – Вып. 46(74). – С. 32–36.
14. Липницкая, Т. Д. Пористые заполнители бетона на основе опоки [Текст] / Т. Д. Липницкая, Р. Д. Азелицкая, А. А. Спасский // Строительные материалы. – 1973. – № 3. – С. 24–25.
15. Липницкая, Т. Д. Вспученный опочный заполнитель и легкие бетоны на его основе [Текст] / Т. Д. Липницкая // Эффективные легкие строительные материалы на базе местного сырья Краснодарской области : Труды Краснодарского политехнического ин-та. – 1975. – Вып. 80. – С. 8–13.
16. Указания по технологии производства термолитовых заполнителей из диатомитов [Текст] / В. П. Петров, Л. Л. Волчек, Б. В. Шаль, М. Н. Баранова. – Куйбышев : НИИКерамзит, 1986. – 21 с.
17. Пористые заполнители из опал-кристаллитовых пород [Текст] : Обзорная информация. Серия 4. Вып. 1 / ВНИИЭСМ. – М. : ВНИИЭСМ, 1985. – 55 с.
18. Онацкий, С. П. Структурно-фазовые превращения при обжиге кремнистого сырья [Текст] / С. П. Онацкий, Л. Л. Волчек, М. Н. Баранова // Сборник трудов / Гос. ВНИИ строит. материалов и конструкций им. П. П. Будникова. – М. : ВНИИИстром, 1981. – Вып. 13. – С. 21–29.
11. Ivanenko, V. N. Building materials and products from hornstones. Kyiv: Builder, 1978. 120 p. (in Russian)
12. Krupin, A. A. Manufactured expanded aggregates from silicious opaline rocks. In: *Building materials*, 1975, No. 8, p. 7–8. (in Russian)
13. Usanova, E. P.; Petrihina, G. A.; Konoshenko, G. I. Researches of phase formation making and structural changes in the box forms during bake out for the purpose of possibility their usage for expanded aggregate production. In: *Collected works VNIISTrom «Scoping studies of production of wall ceramics, drain pipes and expanded aggregates»*. Moscow, 1982, Issue 46(74), p. 32–36. (in Russian)
14. Lipnitskaia, T. D.; Azelitskaia, R. D.; Spasskii, A. A. Expanded concrete aggregates based on box form. In: *Building materials*, 1973, No. 3, p. 24–25. (in Russian)
15. Lipnitskaia, T. D. Expanded filling aggregate and lightweight-aggregate concrete based on it. In: *Works of Krasnodar Polytechnic Institute «Powerfullight-weight building materials based on domestic row materials of Krasnodar region»*. Krasnodar, 1975, Issue 80, p. 8–13. (in Russian)
16. Petrov, V. P.; Volchek, L. L.; Shal, B. V.; Baranova, M. N. Guidelines for processing technique of filling aggregate made of diatomite. Kuibyshev: NIIKeramzit, 1986. 21 p. (in Russian)
17. Expanded aggregates made of solid background information series. Issue 1. Moscow, 1985. 55 p. (in Russian)
18. Onatskii, S. P.; Volchek, L. L.; Baranova, M. N. Structural and Phasic changes during bakeout of hornstones. In: *Collected works VNIISTrom*, 1981, Issue 13, p. 21–29. (in Russian)

**Віницький Аркадій Лазаревич** – к.т.н.; заступник генерального директора з науково-технічної діяльності ТОВ Науково-технологічний центр «Силікатні матеріали та технології», м. Інза, Росія. Наукові інтереси: створення теплоізоляційних матеріалів з опал-кristобалітової сировини.

**Рябов Георгій Костянтинович** – к.т.н., доцент; директор з науково-технічного розвитку та науки ТОВ Виробничо-інвестиційна компанія «Діатоміт-Інвест», м. Ульяновськ, Росія. Наукові інтереси: створення теплоізоляційних матеріалів з опал-кristобалітової сировини.

**Сеник Ніна Олександрівна** – провідний спеціаліст дослідницького відділу ТОВ Науково-технологічний центр «Силікатні матеріали та технології», м. Інза, Росія. Наукові інтереси: створення теплоізоляційних матеріалів з опал-кristобалітової сировини.

**Мешков Олександр Володимирович** – провідний спеціаліст дослідницького відділу ТОВ Науково-технологічний центр «Силікатні матеріали та технології», м. Інза, Росія. Наукові інтереси: створення теплоізоляційних матеріалів з опал-кristобалітової сировини.

**Коростельова Юлія Олександрівна** – к.х.н.; провідний спеціаліст технологічного відділу ТОВ Виробничо-інвестиційна компанія «Діатоміт-Інвест», м. Ульяновськ, Росія. Наукові інтереси: створення теплоізоляційних матеріалів з опал-кristобалітової сировини.

**Фетюхіна Катерина Геннадіївна** – провідний спеціаліст технологічного відділу ТОВ Виробничо-інвестиційна компанія «Діатоміт-Інвест», м. Ульяновськ, Росія. Наукові інтереси: створення теплоізоляційних матеріалів з опал-кristобалітової сировини.

**Виницкий Аркадий Лазаревич** – к.т.н.; заместитель генерального директора по научно-технической деятельности ООО Научно-технологический центр «Силикатные материалы и технологии», г. Инза, Россия. Научные интересы: создание теплоизоляционных материалов из опал-кristобалитового сырья.

**Рябов Георгий Константинович** – к.т.н., доцент; директор по научно-техническому развитию и науке ООО Производственно-инвестиционная компания «Диатомит-Инвест», г. Ульяновск, Россия. Научные интересы: создание теплоизоляционных материалов из опал-кristобалитового сырья.

**Сеник Нина Александровна** – ведущий специалист исследовательского отдела ООО Научно-технологический центр «Силикатные материалы и технологии», г. Инза, Россия, исследовательский отдел. Научные интересы: создание теплоизоляционных материалов из опал-кristобалитового сырья.

**Мешков Александр Владимирович** – ведущий специалист исследовательского отдела ООО Научно-технологический центр «Силикатные материалы и технологии», г. Инза, Россия. Научные интересы: создание теплоизоляционных материалов из опал-кristобалитового сырья.

**Коростелёва Юлия Александровна** – к.х.н.; ведущий специалист технологического отдела ООО Производственно-инвестиционная компания «Диатомит-Инвест», г. Ульяновск, Россия. Научные интересы: создание теплоизоляционных материалов из опал-кristобалитового сырья.

**Фетюхина Екатерина Геннадьевна** – ведущий специалист технологического отдела ООО Производственно-инвестиционная компания «Диатомит-Инвест», г. Ульяновск, Россия. Научные интересы: создание теплоизоляционных материалов из опал-кristобалитового сырья.

**Arkadiy Vinitskiy** – PhD (Eng.); Deputy Research-and-engineering director of the Scientific and Technological Center «Silicate materials and technologies», Inza, Russia. Research interests: Insulation materials on opal-cristobalite raw material base.

**Georgiy Ryabov** – PhD (Eng.), Associate Professor; Director of Scientific and Technological Development and Science of the Industrial Investment Company «Diatomit-Invest» LLC, Ulyanovsk, Russia. Research interests: Insulation materials on opal-cristobalite raw material base.

**Nina Senik** – Senior Specialist of Research Department of the Place of employment: Scientific and Technological Center «Silicate materials and technologies», Inza, Russia. Research interests: Insulation materials on opal-cristobalite raw material base.

**Alexander Meshkov** – Senior Specialist of Research Department of the Place of employment: Scientific and Technological Center «Silicate materials and technologies», Inza, Russia. Research interests: Insulation materials on opal-cristobalite raw material base.

**Julia Korostelyova** – PhD of Chemistry; Senior Specialist of Technology Department of the Industrial Investment Company «Diatomit-Invest» LLC, Ulyanovsk, Russia. Research interests: Insulation materials on opal-cristobalite raw material base.

**Ekaterina Fetyuhina** – Senior Specialist of Technology Department of the Industrial Investment Company «Diatomit-Invest» LLC, Ulyanovsk, Russia. Research interests: Insulation materials on opal-cristobalite raw material base.