

ется на процесс декарбонизации карбоната кальция. В связи с этим, использование крупнотоннажных техногенных продуктов вместо «классического» сырья является перспективным с точки зрения ресурсосбережения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменков, М.И. Перспективные направления использования фосфогипса в производстве минеральных вяжущих / М. И. Кузьменков [и др.] // Сотрудничество – катализатор инновационного роста: сб. материалов 4-го Белорусско-Прибалтийского форума. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 49–50.
2. Кузьменков, М.И. Современные направления переработки фосфогипса / М.И. Кузьменков, А.А. Сакович, Д.М. Кузьменков // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021. – Т. 4. – С. 203–207.
3. Иваницкий, В.В. Фосфогипс и его использование / В.В. Иваницкий, П.В. Классен, А.А. Новиков, С.Н. Стонис, С.Д. Эвенчик, М.Е. Яковлева. – М.: Химия, 1990. – 222 с.
4. Амелин, А.Г. Технология серной кислоты / А.Г. Амелин. – М.: Химия, 1983. – 360 с.
5. Ильин, А.П. Проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов / А.П. Ильин [и др.] // Экология и строительство – 2016. – № 4. – С. 21–29.

УДК 622.362.37(476)

Ю.Г. Павлюкевич, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
С.П. Гречуха (ОАО «Гомельстекло», г. Гомель);  
Л.Ф. Папко, доц., канд. техн. наук;  
Е.Е. Трусова, доц., канд. техн. наук;  
А.П. Кравчук, доц., канд. техн. наук;  
Л.Н. Корнелюк, студ. (БГТУ, г. Минск)

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Проблема обеспечения стекольной промышленности Республики Беларусь качественными сырьевыми материалами требует разработки новых месторождений кварцевых песков. К ним относятся месторождения «Лениндар» (Гомельская область) и «Городное» (Брестская область).

В связи с этим актуальным является комплексное исследование технологических свойств кварцевых песков новых месторождений. К

показателям качества кварцевого песка относятся: содержание основного вещества и примесных компонентов; размер зерен; доля глинистых частиц; насыпная плотность; влажность; угол естественного откоса; потери массы при прокаливании и др. [1]. Основные характеристики – химический, фазовый и гранулометрический состав – определяющим образом влияют на обогатимость песков, процессы стеклования и качество стекла.

Северо-западный участок месторождения «Лениндар» осваивается предприятием «Гомельский ГОК», месторождение «Городное» перспективно для разработки. Государственным предприятием «БелГео» представлены для исследования 36 проб кварцевого песка данного месторождения, которые добыты из скважин на глубине от 0,8 до 15,7 м. Природные пески окрашены в светло-серые, серые, серо-желтые, зелено-желтые и коричневые цвета.

Содержание  $\text{SiO}_2$  в пробах природного песка изменяется от 92,7 до 99,4 мас. %, при этом преобладают пробы с содержанием  $\text{SiO}_2$  от 95 до 99 мас. %. Содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в пробах песка изменяется от 0,03 до 0,64 мас. %. В соответствие с ГОСТ 22551 по химическому составу пробы природных песков соответствуют маркам от ВС-030-В до Т. Для исследования технологических свойств кварцевых песков месторождения «Городное» выбраны 11 проб, включающих различные марки. Согласно ситовому анализу кварцевые пески относятся к среднезернистым и характеризуются высоким содержанием фракции 0,1–0,8 мм. Содержание частиц размером свыше 0,8 мм составляет в среднем 2 %, частиц размером менее 0,1 мм – 1,2 %.

По результатам комплексного исследования тяжелых фракций проб установлено наличие рутила  $\text{TiO}_2$ , псевдорутила  $\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$  и циркона  $\text{ZrSiO}_4$ .

Согласно данным электронной микроскопии исследуемые пески представлены в основном неизометричными окатанными зернами, единичные зерна являются остроугольными. Частицы в структуре образцов песка ряда проб характеризуются большим разбросом по размерам – от мелкодисперсных глинистых до частиц размером 0,6 мм (рис. 1). По данным рентгеноспектрального анализа в составе проб песка марок ВС-040-1 и Б-100-1 наряду с зернами кварца (точки 1, 4, 5, 7–8) имеются зерна с цирконий-содержащими включениями (точки 3, 6) (табл. 1). Зерна с высоким содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (точки 2, 6) являются, очевидно, железистыми алюмосиликатами.

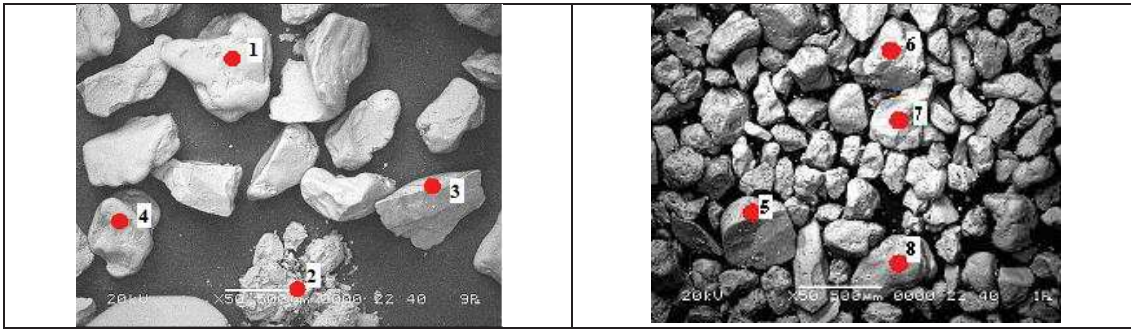
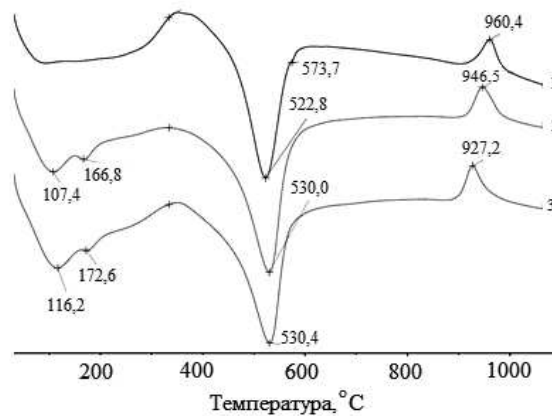


Рисунок 1 – ЭМ снимки проб песка марок ВС-040-1 и Б-100-1

Таблица 1 – Химический состав зерен песка

Компо- нент	Содержание компонентов, мас.%, в точке анализа пробы марки							
	ВС-040-1				Б-100-1			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	98,05	66,30	90,16	98,74	96,89	66,72	96,44	95,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,63	31,00	8,10	1,01	2,80	26,02	3,03	3,32
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,60	0,06	0,17	0,41	3,95	0,08	0,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	1,73	0,21	0,08	0,85	2,39	0,32	0,67
K <sub>2</sub> O	0,09	0,37	–	–	0,05	0,32	0,13	0,31
ZrO <sub>2</sub>	–	–	1,46	–	–	0,59	–	–

Термический анализ глинистого остатка (рис. 2), полученного при отмучивании кварцевых песков, показывает, что на кривых ДСК присутствуют несколько эндотермических эффекта: первый низкотемпературный (50–200 °С) отвечает удалению адсорбционной и межпакетной воды, второй (400–600 °С) – удалению конституционной воды. При 927–960 °С происходит кристаллизация новой фазы – муллита или шпинели.



Марка пробы: 1 – Б-100-1; 2 – ПС-250; 3 – Т

Рисунок 2 – Термограммы глинистого остатка, полученного при отмучивании кварцевых песков

Основной эндотермический пик с максимумом при 107–116 °С с дополнительным эндотермическим эффектом при 166–172 °С характе-

рен для глинистых минералов монтмориллонитовой группы [2]. Дифференция пика свойственна минералам, насыщенным железом и магнием в октаэдрических слоях решетки и изоморфно замещающих алюминий. На кривых с Na- и K- межслоевыми катионами эндотермический эффект не имеет дополнительных перегибов. Второй основной эффект сдвинут в область низких температур (400–600 °С), что характерно железистым монтмориллонитам и нонтронитам. Следовательно, кварцевые пески месторождения «Городное» содержат в качестве глинистой компоненты минералы монтмориллонитовой группы, причем существенным является наличие железистого глинистого минерала нонтронита.

Для испытаний на обогатимость по методике [3] использовали 3 пробы природного кварцевого песка месторождения «Городное» различных марок. При этом проводилось отмучивание и обработка щавелевой кислотой с последующим определением химического состава проб песка (табл. 2).

**Таблица 2 – Результаты испытания на обогатимость песка**

Содержание компонентов, мас. %, в пробе марки								
Б-100-1			ПС-250			Т		
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<i>Исходная проба песка</i>								
99,27	0,147	0,078	95,34	0,543	0,237	95,23	0,159	0,402
<i>Проба песка после отделения глинистых примесей</i>								
99,57	0,018	0,032	98,21	0,06	0,1	98,73	0,064	0,084
<i>Проба песка после обработки раствором щавелевой кислоты</i>								
99,55	0,015	0,027	99,49	0,015	0,017	99,18	0,021	0,027

В пробах песка марок ПС-250 и Т содержание глинистых примесей составляет 5,70 и 7,77 % соответственно, поэтому их отделение (отмучивание) обуславливает существенное снижение содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При обработке щавелевой кислотой, которая является имитацией процесса оттирки, получены пески марки ВС-030-В. Для производства листового стекла флоат-способом, предназначенного для изготовления стеклопакетов, стекла с низкоэмиссионными покрытиями, многослойного стекла применяют песок марок ОВС и ВС.

Таким образом, по результатам комплексного исследования проб природных кварцевых песков месторождения «Городное» установлена возможность получения песков, пригодных для использования в производстве листового стекла. При обогащении кварцевого песка глинистые примеси удаляются промывкой, крупные частицы – классификацией, пленки гидроксидов железа – оттиркой, тяжелые минералы – винтовыми сепараторами или флотацией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шагиев И.И., Дресвянников А.Ф. Комплексная оценка качества песка для стекольной промышленности // Вестник технологического университета. – 2016. – Т.19, № 10. – С. 86–90.
2. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розина Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. – Л.: Недра, 1974. – 399 с.
3. Маневич В.Е., Субботин К.Ю., Ефремов В.В. Сырьевые материалы, шихта и стекловарение. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2008. – 224 с.

УДК 691.335

Т.В. Булай, ст. преп. (ГрГУ им. Янки Купалы, г. Гродно);  
М.И. Кузьменков, проф., д-р техн. наук;  
Н.М. Шалухо, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРНОГО БЕТОНА

Развитие строительной отрасли приводит к использованию новых эффективных строительных материалов. Одним из таких материалов является серный бетон – композиционный материал, состоящий из заполнителей и наполнителей, серного вяжущего и добавок [1].

Главной задачей исследований являлось определение физико-механических свойств серного бетона. Объектом исследования являлись образцы из серного бетона, полученные из серы и заполнителей.

Технологический процесс изготовления образцов заключался в приготовлении сырьевой смеси, разогрев ее при непрерывном перемешивании до температуры 120–150 °С, заливка в предварительно разогретые формы и последующее виброуплотнение. После остывания смеси образцы извлекались из форм и подвергались исследованиям физико-механических свойств [2].

В качестве заполнителя для приготовления серного бетона использовался строительный песок различных фракций. Испытание образцов проводилось на следующий день после их формования. Использование гранитных отсеков для изготовления образцов из серного бетона предполагало снижение его стоимости без ухудшения свойств.

Результаты исследований прочностных характеристик серного бетона с песком и гранитными отсеками представлены на рисунке 1.

Результаты исследований показали, что серный бетон обладает свойством быстрого набора прочности, при чем высокие прочностные показатели были достигнуты на мелких и пылеватых фракциях песка,