

ПОЛУЧЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 666.1/5:666.9
МРНТИ 67.15.29; 67.15.33
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.41>

Комплексное использование
минерального сырья. № 4. 2018.
ISSN 2616-6445 (Online), ISSN 2224-5243 (Print)

Е. И. КУЛЬДЕЕВ^{1,2}, И. В. БОНДАРЕНКО¹, С. С. ТЕМИРОВА^{1*}, Е. А. ТАСТАНОВ¹,
Р. Е. НУРЛЫБАЕВ²

¹Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан, *e-mail: stemirova@mail.ru

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

СОСТАВ И СВОЙСТВА ДИАТОМИТОВОГО СЫРЬЯ КАЗАХСТАНА И СИНТЕЗ НА ЕГО ОСНОВЕ СИЛИКАЛЬЦИТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Received: 31 July 2018 / Peer reviewed: 27 September 2018 / Accepted: 11 October 2018

Резюме. Обзор современных исследований и технологий по применению диатомитов в качестве силикатных добавок в строительные материалы показал, что работы в данном направлении активно проводятся в промышленно развитых странах, часть из них находится на стадии практической реализации. В статье также представлены результаты собственных исследований авторов по синтезу силикальцитов и гидратированных форм ферросиликальцитов с использованием в качестве основного силикатного компонента различных разновидностей казахстанских диатомитов месторождения Жалпак (Актюбинская область). Исследованы основные топологические и физико-механические характеристики природных диатомитов. Установлено, что использование термически активированного диатомита в смеси с пластификатором повышает прочность при сжатии и марочность строительных изделий, снижает их водопоглощение и удельный вес. Отмечено резкое повышение прочности изделий при использовании термически активированного высокожелезистого диатомита (20-30 % Fe₂O₃). Рентгенофазовый анализ образцов кубиков полученных композиций, прошедших полусухое прессование с термически активированным железистым диатомитом и последующую паровую обработку, показал наличие в их составе хеденбергита – Ca(Fe,Mg)Si₂O₆ и хлоритоида А – FeAl₂SiO₅(OH)₂ в количестве до 1 мас. %. Технические характеристики кубиков композиций, полученных с использованием термически активированного диатомита, особенно его высокожелезистых форм, полностью соответствуют и превосходят нормативные показатели межгосударственного стандарта ГОСТ 379–95, предъявляемые к силикатным камням и кирпичам. В дальнейшем технология получения синтезируемых материалов может стать основой для создания новых и совершенствования действующих промышленных производств сухих строительных смесей и прочного силикатного кирпича в Казахстане.

Ключевые слова: диатомит, силикальциты, активация, соединения железа, сухие строительные смеси, силикатный кирпич

Введение. Современная индустрия производства строительных изделий и материалов в значительной степени основана на использовании цементных и гипсовых композиций. Однако в последнее время другие химические композиции или варианты совместного применения традиционных и новых веществ находят все большее применение.

Диатомит, являющийся природным гидратированным силикатом, привлекает все большее внимание ученых и строительной промышленности во всем мире. Рядом ученых

выполнены исследования по применению диатомитов в качестве пуццолановой добавки и замены части цемента в бетонных растворах. Китайскими исследователями [1] для экономии энергоресурсов предлагается создание известковой композиции из диатомита и порошка отходов кладки в качестве заполнителя при приготовлении растворов. Диатомит использовали в количестве 0, 10 и 20 % от массы оксида кальция, а растворы были приготовлены с различными соотношениями связующего вещества и воды (масса/объем). Физические и

механические свойства, такие, как замораживание и оттаивание, а также кислотность и сульфатостойкость в растворах были испытаны после 14, 28 и 90 дней после приготовления композиций. Введение диатомита уменьшило плотность растворов, а также сократило общее количество используемого сырья, особенно извести, при получении того же объема растворов. Замена части извести на диатомит повышала прочность на сжатие и изгиб гидравлических растворов. Усиление в основном происходило после 14 дней обработки, когда эффект пуццолана был заметным. Процент замещения диатомитом влиял на пористость, компактность и прочность растворов. Установлен оптимальный процент замещения диатомита и w/b для растворов для достижения наибольшей прочности. Введение диатомита значительно улучшило кислотную и сульфатную стойкость растворов. Все изученные гидравлические растворы повышали прочность в условиях замораживания и оттаивания.

Английскими учеными отмечено [2] улучшение качества цементов и других строительных изделий при введении добавок диатомита.

Специалистами Dumlupinar University (Турция) были выполнены работы по использованию необработанного и кальцинированного диатомита, имеющего аморфную и пористую природу, при производстве цемента [3]. Проведены физические, химические, минералогические, микроструктурные и механические исследования растворов, приготовленных путем смешивания портландцементных клинкеров с 5, 10 и 20 % сырого и кальцинированного диатомита и гипса. Согласно результатам испытаний смешанные цементы на основе сырого диатомита показали сопоставимые значения прочности по отношению к эталонному цементу (ОПС) до введения 10 % добавки; дальнейшее ее увеличение привело к снижению прочности из-за более высокого поглощения воды, связанного с пористостью материала, в то время как значения Блейна и реактивного содержания SiO_2 возросли. Кальцинирование изменило пористую структуру диатомита и облегчило его измельчение, а также обеспечило его более эффективное использование в качестве добавки цемента.

В Университете Тебриза (Иран) выполнен комплекс исследований по изучению свойств цементных растворов, содержащих большой объем необработанного диатомитового порошка

в качестве замены цемента [4]. Полученные результаты показывают резкое удешевление цемента и стоимости производства бетона на его основе, а также снижение степени загрязнения окружающей среды, вызванное выбросом CO_2 на цементных заводах. В исследованиях рассмотрены цементные растворы, содержащие 0, 15, 30 и 40 мас. % диатомитовой добавки от общего веса цементного материала. Растворы обладали хорошей текучестью при заливке кубиков. Прочность на сжатие и растяжение измерялись через 3, 7, 28 и 91 суток с определением прочностных характеристик. Были выполнены сравнительные исследования по водопоглощению бетонов и расчеты экономической эффективности при частичной замене цемента диатомитом. Результаты испытаний показали, что порошок диатомита может использоваться в качестве замены цемента до 40 % без существенных потерь в прочности на сжатие при этом улучшается прочность на растяжение и продлевается срок транспортировки цементных растворов на объекты строительства. Экологическая оценка показывает значительное снижение вредных выбросов при частичной замене цемента бентонитом.

Полезные свойства диатомита отмечены и при производстве пористого силикатного кирпича термическим способом. Смесь диатомита и отработанную фильтрующую смесь при производстве сахара формовали в кирпичи и обжигали от 700 до 900 °С. Установлено, что на физико-механические свойства кирпича влияют температура спекания и введенная доля материала сахарного фильтра. Образцы пористого кирпича после спекания имеют приемлемые прочность и пористость. Лучшая комбинация механических и физических свойств достигнута для смеси 70 мас.% диатомита, 20 мас. % фильтровальной смеси с добавками 6 мас.% доломита и 4 мас.%, пербората натрия, полученной путем спекания при 800 °С. Явная пористость составляла 50,39 %, объемная плотность – 1,25 г/см³, прочность на изгиб – 10,05 МПа [5].

В работе [6] для оценки эффективности применения активированного диатомита были проведены сравнительные исследования строительно-технологических характеристик сухих строительных смесей с различными природными и техногенными активными минеральными добавками. Данные исследования имеют практическую ценность только для сухих

строительных смесей на основе портландцементных вяжущих.

В вышеприведенных исследованиях используются такие ценные качества диатомита, как высокая пористость и значительное содержание активного частично гидратированного SiO_2 , повышающие пуццолановое число и снижающие вес цемента.

Диатомиты в композициях с известью могут выступать как самостоятельные компоненты при получении известковых растворов и продуктов. Цикл исследований российских ученых посвящен применению диатомитов в создании рецептур сухих строительных смесей с использованием различных модифицирующих добавок.

В работе [7] показано, что прочностные показатели известково-диатомитовых растворов зависят от тонкости помола компонентов. На динамику набора прочности существенным образом влияет соотношение извести и активированного диатомита. Максимальное значение ранней прочности достигается при соотношении известь - диатомит, составляющем 1:3,5. При увеличении содержания извести прочность возрастает в более длительные сроки. При правильном подборе компонентов прочность затвердевших растворов на основе известково-диатомитового вяжущего достигает 7,5 МПа. Приводятся результаты, полученные при испытании штукатурных смесей и шпаклевок на основе известково-диатомитового вяжущего. Исследованы свойства сухих строительных смесей с применением активированного диатомита при использовании в их составе наиболее распространенных модифицирующих добавок: эфиров целлюлозы, диспергируемых полимерных порошков, эфиров крахмала. Определено положительное влияние полуводного гипса на набор прочности в ранние сроки и его оптимальная дозировка. Рассмотрено влияние температуры на скорость нарастания прочности и эксплуатационные характеристики затвердевших растворов. На основании проведенных исследований рекомендованы наиболее рациональные области применения активированного диатомита в составах сухих строительных смесей.

Сухие строительные смеси находят все большее применение при выполнении отделочных работ. Известно, что активность диатомита определяется содержанием в диатомитах веществ в химически активной форме. Помимо кремнезема в состав диатомита входят кристаллы солей кальция, натрия, железа,

алюминия, органические вещества (до 9 %). Предложено несколько способов активации диатомита [8 - 10].

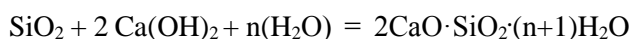
Для активации диатомита предложено осуществлять модификацию его поверхности путем его обработки гидроксидом натрия и кальцинированной содой. Выявлено, что активация диатомита щелочью приводит к значительному увеличению прочности при сжатии известково-диатомитовых композитов. Так, прочность при сжатии контрольного состава (без активации диатомита) в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения составляет $R_{сж}$ 1,82 МПа, а с использованием активированного гидроксидом натрия NaOH – 3,6-6,24 МПа.

Авторами работы [11] с применением модифицированного диатомита разработаны составы известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси, предназначенной для отделки стен зданий. Покрытия на основе разработанной смеси характеризуются хорошей наносимостью, высокой прочностью сцепления, составляющей 1,4-1,6 МПа. Установлено, что при применении в качестве штукатурки разработанного известково-диатомитового состава наблюдается смещение нулевой изотермы на 4-9 мм в сторону пониженных температур.

В работе [12] исследована возможность применения диатомовых отложений региона Инза в качестве компонента сухих известковых смесей. Для повышения реактивности диатомита использовались способы активации, направленные на изменение поверхностной активности диатомита и его химического состава. Диатомит активировали термически путем нагрева при различных температурах и химически – обработкой кремниевой кислотой. Модификация диатомита золем кремниевой кислоты увеличивает содержание кремнезема, способствует повышению гидрофильных свойств его поверхности, уменьшает размеры пор, увеличивает его активность в качестве минеральной добавки. Активированный диатомит смешивали с известью в массовых пропорциях известь: диатомит 1: 4.

В основу работ ученых АО «Институт металлургии и обогащения» (г. Алматы) положены теоретические исследования, выполненные под руководством эстонского ученого Й.А. Хинта по синтезу силикальцитов [13].

Химическое взаимодействие кремнезема и гидроксида кальция протекает по следующей реакции:



Скорость и полнота протекания данной реакции в основном зависят от активности ее компонентов. Для активации кварцевого песка предлагается осуществлять его дезинтеграцию до крупности в несколько нанометров и осуществлять взаимодействие путем сильного сжатия и желателно в паровой атмосфере в автоклавах. Й.А. Хинтом с сотрудниками были разработаны конструкции дезинтеграторов для измельчения речного песка до размеров нескольких нанометров.

Казахстан входит в число стран, обладающих значительными запасами диатомитового сырья, приблизительно оцениваемого в 200 млн. тонн, из них около 80 % находятся в Муголжарском районе Актюбинской области [14]. Из группы казахстанских диатомитовых месторождений, выделяется месторождение Жалпак, характеризующееся поверхностным залеганием и близостью расположения к крупной железнодорожной станции г. Эмба. Поэтому диатомиты данного месторождения представляют собой важный объект изучения как в научном, так и в практическом плане для получения на их основе целого спектра промышленных материалов, в том числе высококачественной силикатной строительной продукции. Целью данной работы являлось исследование состава и свойств казахстанского диатомитового сырья и синтез силикальцитов и ферросиликальцитов с использованием в качестве основного силикатного компонента диатомитов месторождения Жалпак.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. *Изучение состава и свойств*

диатомита. Исследованы основные физико-химические, физико-механические характеристики, химический и минералогический состав различных видов природных казахстанских диатомитов месторождения Жалпак. В таблице 1 приведены результаты рентгенофлуоресцентного анализа диатомитовых разновидностей месторождения Жалпак.

Пробы диатомитовых руд отличаются значительным варьированием химического состава. Содержание SiO_2 изменяется от 25,845 % в желтых (охроподобных) до 73,087 % в белых разновидностях руды. Содержание Fe_2O_3 меняется от 2,356 % до 27,440 %. Условно различные образцы диатомитовых руд могут быть разделены на мало- (2-5 % Fe_2O_3), средне- (10-12 % Fe_2O_3) и высокожелезистые (20-30 % Fe_2O_3) разновидности. Изменение содержания второстепенных компонентов (Na_2O , MgO , Al_2O_3 , K_2O , CaO и т.д.) не так значительно. Отмечено несколько повышенное содержание соединений ванадия, рубидия и стронция в количествах, превышающих относительные кларковые значения, однако не представляющих интерес для их целевого извлечения в качестве концентратов. Для изучения минерального состава диатомитовых руд был выполнен рентгенофазовый анализ на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение $\alpha\text{-Cu}$. Было установлено, что основной фазой во всех образцах диатомитовых руд является кварц и мусковит (рисунки 1 и 2). В высокожелезистой разновидности диатомита (опоки) (рисунок 2) отмечается достаточно высокое содержание серы, которая связана с железом в виде железистого ярозита

Таблица 1 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа диатомитовых руд месторождения Жалпак

№ пробы	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	S_2O_3	K_2O	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	NiO	ZnO	Rb_2O	SrO	Cl^-
1	0,738	1,147	8,593	73,087	0,028	0,056	0,837	0,320	0,549	0,055	0,019	0,014	2,356	0,011	0,014	0,004	0,007	1,123
2	0,948	0,910	8,382	67,065	0,019	0,174	0,833	0,314	0,632	0,044	0,013	0,012	3,573	0,010	0,011	0,005	0,007	0,510
3	1,017	1,238	7,834	69,140	0,021	0,388	0,847	0,200	0,626	0,048	0,012	0,018	2,992	0,09	0,007	0,005	0,006	0,943
4	0,703	1,091	8,482	72,965	0,026	0,098	0,837	0,284	0,554	0,037	0,021	0,010	2,425	0,006	0,011	0,005	0,006	0,846
5	0,543	0,416	3,785	25,845	0,558	3,658	1,349	0,217	0,299	0,139	0,024	0,046	27,440	0,017	0,022	0,007	0,066	0,062
6	1,047	1,256	7,923	66,195	0,030	0,263	0,831	0,284	0,465	0,041	0,015	0,015	3,48	0,017	0,009	0,005	0,07	1,424
7	0,803	0,961	8,032	66,98	0,152	0,575	0,816	0,350	0,483	0,053	0,018	0,024	10,296	0,013	0,010	0,005	0,009	0,423
8 (опоки)	0,660	0,58	6,316	46,41	0,563	4,46	2,127	0,336	0,483	0,171	0,020	0,037	30,405	0,017	0,015	0,006	0,006	0,009

Получение неорганических материалов из минерального сырья

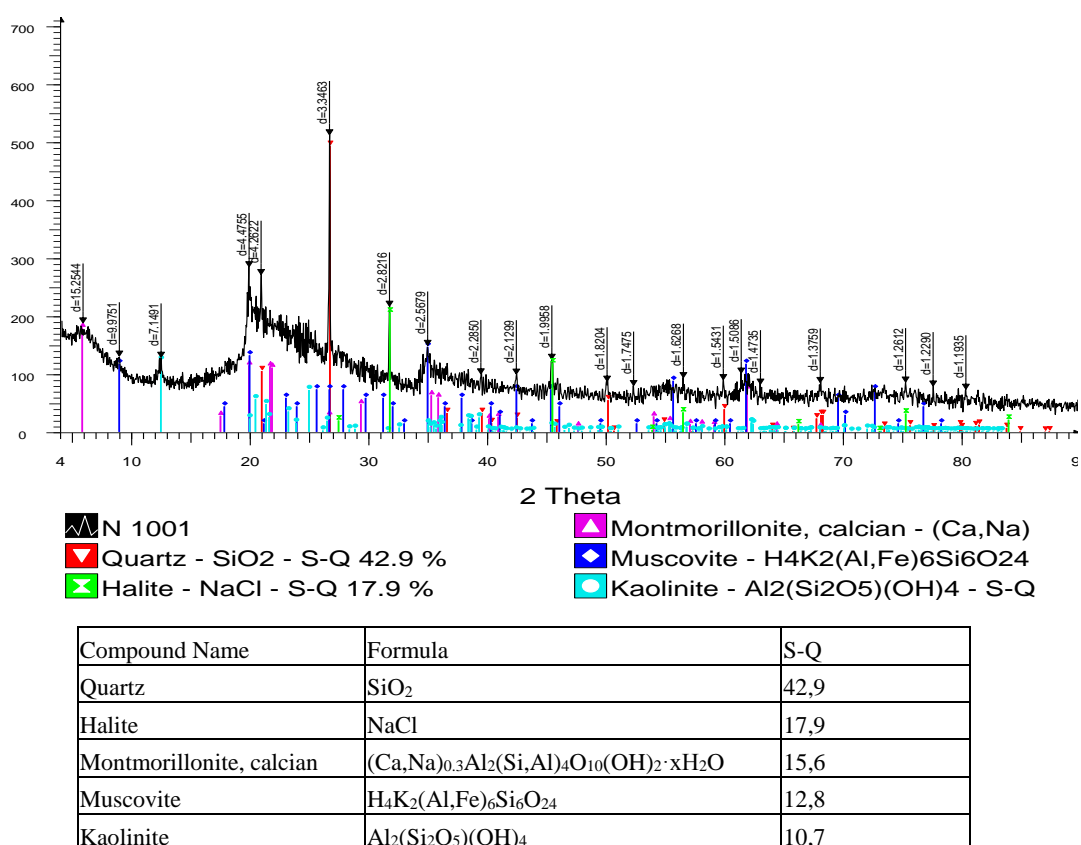


Рисунок 1 – Рентгенофазовый анализ диатомитовой руды с низким содержанием железа (низкожелезистая разновидность)

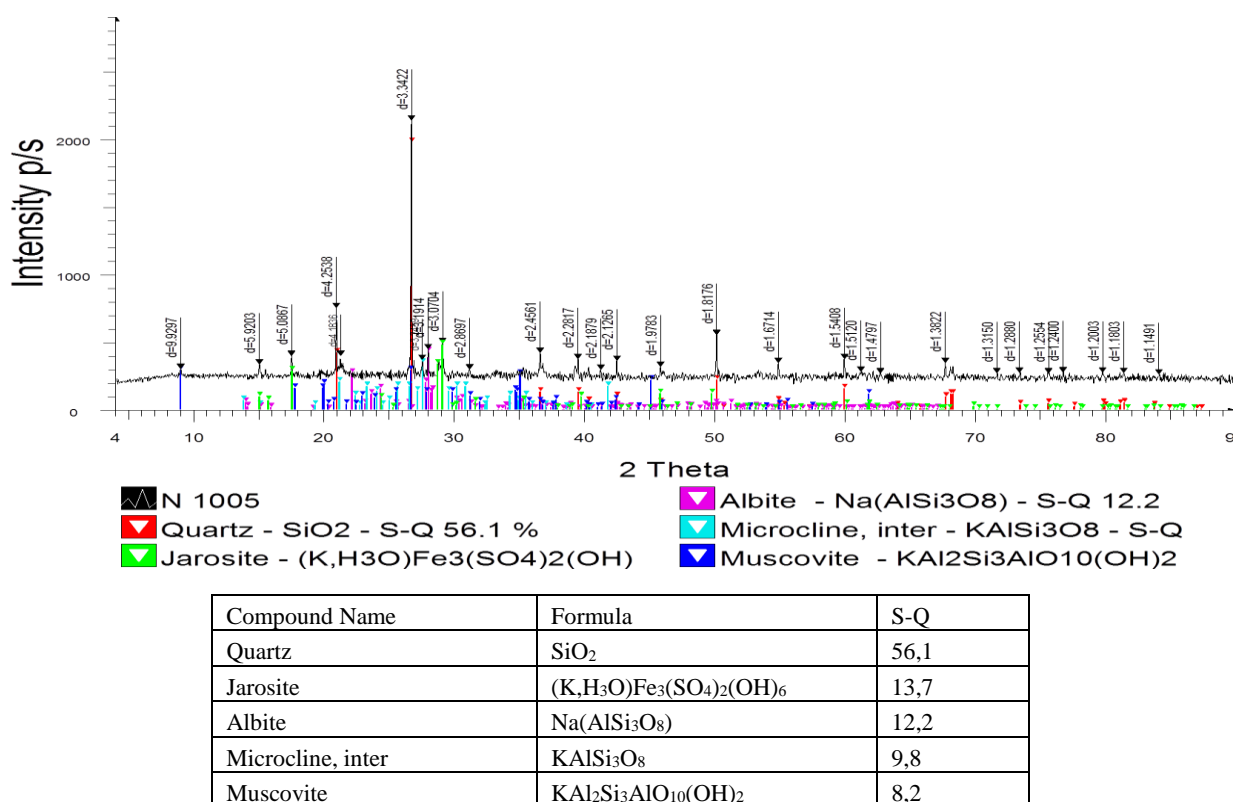


Рисунок 2 – Рентгенофазовый анализ диатомитовой руды с высоким содержанием железа (высокожелезистая разновидность)

Исследованы основные топологические и физико-механические характеристики природных диатомитов (таблица 2).

Таблица 2 – Основные топологические и физико-механические характеристики природных диатомитов

Наименование характеристики	Место-рождение Жалпак
Истинная плотность, кг/м ³	2200
Насыпная плотность, кг/м ³	250-400
Пористость, %	82-89
Влажность, %	5
Органогенные примеси и влага, %	9
Крупность частиц, мкм	0,260-0,504
Координационное число	2,7-3,2
Фрактальная размерность структурных неоднородностей, D_s	2,78
Линейные размеры структурных неоднородностей поверхности частиц. R_1 НМ	3,9
Удельная поверхность, м ² /г	10

Исследования, выполненные на инфракрасном Фурье-спектрометре «ИнфраЛЮМ ФТ-02», показали, что образцы диатомитов месторождения Жалпак представляют собой легкие пористые осадочные породы, состоящие главным образом из кремнезема различной степени гидратированности – $mSiO_2 \cdot nH_2O$. Диаметр частиц колеблется от 0,260 до 0,500 мкм, а содержание SiO_2 – от 25 до 75 %. Частицы SiO_2 , в зависимости от условий формирования, имеют значительный разброс линейных размеров, пористости, структурных неоднородностей. Отдельные сферические частицы диоксида кремния крупностью в среднем 225 нм и друзы частиц размером 20-40 нм имеют внутреннюю субструктуру, представленную первичными частицами 5-10 нм, из которых формируется конгломерат размером 300-500 нм. Таким образом, частицы дисперсного микрокремнезема субмикронных размеров имеют поровую структуру с линейными размерами пустот 1,1-16,5 нм. На самом деле, максимальное значение диаметров пор, вероятно, выше из-за дефектов упаковки частиц и отклонений формы первичных и вторичных частиц от сферической.

Синтез силикальцитов. Для активации диатомита выполнены исследования по помолу диатомита в истирателе ИВ-3 в течение 60 мин. и термической активации железистых разновидностей (опок) в лабораторной печи при температуре 600 °С в течение 1 ч с последующим помолом в истирателе ИВ-3 в течение 60 мин.

Механический помол в истирателе позволил достичь средней эффективной крупности частиц 70-80 мкм, истирание обожженного железистого диатомита привело к крупности частиц 5-10 нкм. Для оценки эффективности применения активированного диатомита были проведены сравнительные исследования строительно-технологических характеристик полученных материалов по требованиям СТ РК ИСО/МЭК 17025-2007 к строительным лабораториям [15].

Оксид кальция марки «ч» в течение 10 мин. измельчали в истирателе ИВ-3 до крупности 30-40 нм. Сырой и активированный диатомит смешивали с известью в массовых пропорциях известь : диатомит = 1:4. Смесь затворяли водой при Ж:Т = 1:5 и заливали в строительные кубики 5x5x5. В некоторых опытах в качестве пластификатора добавляли гипс марки «ч» в количестве до 5 мас. %.

Полученные кубики разделили на 3 партии, которые выдерживали в различных условиях: подвергали прессованию в полусухом состоянии (10 мас. % воды) на гидравлическом строительном прессе WPP 50M (Германия) с усилием 50 т; выдерживали в атмосферных условиях в течение 7, 14 и 28 сут.; обрабатывали паром в автоклавах при температуре 160 °С в течение 26 ч.

После выдержки кубиков при заданных условиях исследований проводилось их раздавливание на лабораторном строительном прессе МИП 25Р с расчетом среднеарифметических значений прочности. Результаты исследований даны в таблице 3.

Рентгенофазовый анализ образцов кубиков, прошедших полусухое прессование с термически активированным железистым диатомитом и последующую паровую обработку, показал наличие в их составе хеденбергита – $Ca(Fe,Mg)Si_2O_6$ и хлоритоида А – $FeAl_2SiO_5(OH)_2$ в количестве до 1 мас. %. Из литературы [16] известно, что феррокальцитовые соединения применяются в качестве связующего, повышающего прочность железорудных окатышей. Нужно отметить, что использование железистых диатомитов несколько увеличивает массу тестовых кубиков, по-видимому, из-за добавок оксида железа.

Анализ полученных результатов и их сравнение с нормативами, приведенными на силикатные кирпичи и камни в Межгосударственном стандарте ГОСТ 379-95 [17], показали, что использование диатомита в качестве силикатного компонента позволяет достичь марки строительных изделий М 70 даже без применения автоклавных условий.

Таблица 3 – Результаты по прочности кубиков композиций, полученных при разных условиях обработки

№ опыта	Метод получения	Прочность при сжатии (28 сут), МПа	Водопоглощение, %	Масса, кг/дм ³	Цвет
1	Смешение с сырым диатомитом и заливка в формы	7,0	9,0	2,0	белый
2	Смешение с сырым диатомитом и пластификатором (гипс) и заливка в формы	6,8	6,0	1,95	белый
3	Смешение с термически активированным диатомитом и заливка в формы	8,5	6,0	1,75	белый
4	Смешение с термически активированным железистым диатомитом и заливка в формы	12,3	5,5	2,12	розовый
5	Смешение, полусухое прессование с сырым диатомитом	11,5	7,2	2,0	белый
6	Смешение, полусухое прессование с сырым диатомитом. Автоклавная паровая обработка	18,4	6,0	1,88	белый
7	Смешение, полусухое прессование с термически активированным диатомитом. Автоклавная паровая обработка	20,0	5,0	1,7	белый
8	Смешение, полусухое прессование с термически активированным железистым диатомитом. Автоклавная паровая обработка	25,2	4,3	2,10	красный

Выводы. Использование термически активированного диатомита в смеси с пластификатором позволяет существенно снизить водопоглощение полученных композиций. Полусухое прессование с последующей автоклавной паровой обработкой образцов кубиков резко повышает прочность при сжатии и марочность строительных изделий, снижает их удельный вес. Отмечено резкое повышение прочности образцов при использовании термически активированного высокожелезистого диатомита (20-30 % Fe₂O₃), что связано с частичным образованием гидратированных форм феррокальцитов, причем их количество возрастает при автоклавной паровой обработке материала.

Технические характеристики образцов, полученных с использованием термически активированного диатомита, особенно его высокожелезистых форм, соответствуют или несколько превышают нормативные показатели ГОСТ 379–95, предъявляемые к силикатным камням и кирпичам

Работа выполнена при финансовой поддержке КН МОН РК по гранту AP05131028 «Разработка технологии переработки казахстанских диатомитов с получением на их основе высококачественной силикатной строительной продукции».

ЛИТЕРАТУРА

1 Shuqiang Xuab, Julin Wangab, Qinglin Mac, Xin Zhaod, Tao Zhange. Study on the lightweight hydraulic mortars designed by the use of diatomite as partial replacement of natural hydraulic lime and masonry waste as aggregate // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 73. – P. 33-40. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.062.

2 Flower R.J. Diatom methods. Diatomites: Their Formation, Distribution, and Uses. Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition). – London: University College London, 2013. – P. 501-506.

3 Bülent Yılmaz, Nezahat Ediz. The use of raw and calcined diatomite in cement production // Cement and Concrete Composites. – 2008. – V. 30. – № 3. – P. 202-211. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2007.08.003.

4 Zahra Ahmadi, Jamshid Esmaeili, Jamil Kasaei, Robab Hajialioghli. Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite // Sustainable Materials and Technologies. – 2018. – V. 16. – P. 47-53. DOI: 10.1016/j.susmat.2018.05.001.

5 Jianzong Man, Wenyuan Gao, Shuang Yan, Guishan Liu, Hongshun Hao. Preparation of porous brick from diatomite and sugar filter mud at lower temperature // Construction and Building Materials. – 2017. – V. 156. – P. 1035-1042. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.021.

6 Пустовгар А. Эффективность применения активированных диатомитов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2006. – №10. – С. 62-64.

7 Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Влияние активации диатомита на свойства

известковых композиций // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 3. – С. 20-23.

8 Никифоров Е.А., Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Особенности структурообразования известковых композитов с применением модифицированного диатомита // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 4-8.

9 Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Исследования закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 62-65.

10 Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Емельянов А.И., Киселев Е.В., Черкасов Д.В. Активная минеральная добавка на основе химически модифицированного диатомита // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 12. – С. 50 - 55.

11 Карпова О.В., Логанина В.И., Симонов Е.Е. Эффективность применения известково-диатомитовой декоративной штукатурки для отделки ограждающих конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 5. – С. 44 - 47.

12 Loganina V., Simonov E., Ezerskij V., Malashkevich D. Application of activated diatomite for dry lime mixes // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 65. – P. 29-37. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.098.

13 Хинт Й.А. Силикальцит – новый строительный материал. – Таллин: Эстонское гос. изд., 1957. – 46 с.

14 Обзор рынка диатомита в СНГ (отчет экспертов ООО «ИГ «Инфолайн»). М., 2016. - 171 с.

15 Бирюкова А.А., Тихонова Т.А., Меркибаев Е.С., Хабас Т.А., Погребенков В.М. Синтез кордиеритомуллитовой керамики с заданным фазовым составом на основе сырья Казахстана // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – № 2. – С. 88-94.

16 Бондаренко И.В., Тастанов Е.А., Садыков Н.М.-К. Получение инновационного теплоизоляционного материала из шлаков феррохрома // Экология и промышленность Казахстана. – 2018. – №1(57). – С.32-35.

17 ГОСТ 379–95. Межгосударственный стандарт, кирпич и камень силикатные. Технические условия. – М.: Стройиздат. 01.07.1996. – 12 с.

REFERENCES

1 Shuqiang Xuab, Julin Wangab, Qinglin Mac, Xin Zhaod, Tao Zhange. Study on the lightweight hydraulic mortars designed by the use of diatomite as partial replacement of natural hydraulic lime and masonry waste as aggregate. *Construction and Building Materials*. **2014**. 73. 33-40. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.062 (in Eng.)

2 Flower R.J. Diatom methods. Diatomites: Their Formation, Distribution, and Uses. *Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition)*. London: University 156

College London, **2013**. 501-506. ISBN-13:978-0444536433 (in Eng.)

3 Bülent Yılmaz, Nezahat Ediz. The use of raw and calcined diatomite in cement production. *Cement and Concrete Composites*. **2008**. 30. 3. 202-211. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2007.08.003 (in Eng.)

4 Zahra Ahmadi, Jamshid Esmaeili, Jamil Kasaei, Robab Hajjialioghli. Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite. *Sustainable Materials and Technologies*. **2018**. 16. 47-53. DOI: 10.1016/j.susmat.2018.05.001 (in Eng.)

5 Jianzong Man, Wenyuan Gao, Shuang Yan, Guishan Liu, Hongshun Hao. Preparation of porous brick from diatomite and sugar filter mud at lower temperature. *Construction and Building Materials*. **2017**. 156. 1035-1042. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.021 (in Eng.)

6 Pustovgar A. *Effektivnost' primeneniya aktivirovannyh diatomitov v suhikh stroitel'nyh smesyah* (Effectiveness activated diatomites use in dry construction mixtures). *Stroitel'nye materialy = Building materials*. **2006**. 10. 62-64. (in Russ.)

7 Loganina V.I., Davydova O.A., Simonov E.E. *Vliyanie aktivacii diatomita na svoystva izvestkovykh kompozitsij* (Effect of diatomite activation on the properties of calcareous compositions). *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo = News of Higher Schools. Building*. **2011**. 3. 20-23. (in Russ.)

8 Nikiforov E.A., Loganina V.I., Davydova O.A., Simonov E.E. *Osobennosti strukturoobrazovaniya izvestkovykh kompozitov s primeneniem modifitsirovannogo diatomita* (Features of the structure formation of calcareous composites with modified diatomite) *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo = Regional architecture and building*. **2011**. 2. 4-8. (in Russ.)

9 Loganina V.I., Davydova O.A., Simonov E.E. *Issledovaniya zakonmernostej vliyaniya zolya kremnievoj kisloty na strukturu i svoystva diatomita* (Studies of the regularities of the effect of silica sol on the structure and properties of diatomite). *Stroitel'nye materialy = Building materials*. **2011**. 12. 62-65. (in Russ.)

10 Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Emel'yanov A.I., Kiselev E.V., Cherkasov D.V. *Aktivnaya mineral'naya dobavka na osnove khimicheski modifitsirovannogo diatomita* (Active mineral supplement based on chemically modified diatomite). *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo = News of Higher Schools. Building*. **2011**. 12. 50 - 55. (in Russ.)

11 Karpova O.V., Loganina V.I., Simonov E.E. *Ehffektivnost' primeneniya izvestkovo-diatomitovoj dekorativnoj shtukaturki dlya odelki ograzhdayushchikh konstrukcij* (Efficiency of using lime-diatomite decorative plaster for finishing of enclosing structures). *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo = News of Higher Schools. Building*. **2012**. 5. 44 - 47. (in Russ.)

12 Loganina V., Simonov E., Ezerskij V., Malashkevich D. Application of activated diatomite for dry lime mixes. *Construction and Building Materials*. **2014**. 65. 29 - 37. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.098 (in Eng.)

13 Hint J.A. *Silikal'cit – novyy stroitel'nyj material*. (Silicalcite is a new building material) Tallin: Estonian State Press. **1957**. 46. (in Russ.)

14 *Obzor ryinka diatomita v SNG* (otchet ekspertov OO «IG «Infomayn»). M., **2016**. 171. (in Russ.)

15. Biryukova A.A., Tikhonova T.A., Merkibaev E.S., Habas T.A., Pogrebenkov V.M. *Sintez kordieritomullitovoj keramiki s zadannym fazovym sostavom na osnove syr'ya Kazakhstana* (Synthesis of mullite cordierite ceramics with given phase composition on the basis of Kazakhstani minerals). *Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syr'ya = Complex use of mineral resources*. **2016**. 2. 88-94. (in Russ.)

16 Bondarenko I.V., Tastanov E.A., Sadykov N.M.-K. *Poluchenie innovatsionnogo teploizolyatsionnogo materiala iz shlakov ferrokhroma* (Obtaining an innovative thermal insulation material from ferrochrome slags). *Ehkologiya i promyshlennost Kazakhstana = Ecology and industry of Kazakhstan*. **2018**. 1(57). 32-35. (in Russ.)

17 GOST 379–95. *Mezhhgosudarstvennyj standart. kirpich i kamen' silikatnye. Tekhnicheskie usloviya* (Interstate standard, silicate brick and stone. Technical specifications) Moscow: Strojizdat. 01.07.1996. (in Russ.)

Е. И. КӨЛДЕЕВ^{1,2}, И. В. БОНДАРЕНКО¹, С. С. ТЕМИРОВА^{1*}, Е. А. ТАСТАНОВ., Р. Е. НҮРЛЫБАЕВ²

¹Металлургия және кен байыту институты, Алматы, Қазақстан, *e-mail: stemirova@mail.ru

²Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ДИАТОМИТТІ ШИКЗАТТЫҢ ҚҰРАМЫ МЕН ҚАСИЕТІ ЖӘНЕ ОНЫҢ НЕГІЗІНДЕ ҚҰРЫЛЫС ӨНІМДЕРІН АЛУ ҮШІН СИЛИКАЛЬЦИТТЕРДІ СИНТЕЗДЕУ

Түйіндеме. Құрылыс материалдарына силикатты қоспалар түрінде қолданылатын диатомиттерді пайдалану бойынша заманауи зерттеулер мен технологияларға жасалған шолу, осы бағыт бойынша өнеркәсібі дамыған елдерде жұмыстар белсенді жүргізіліп жатқанын және олардың біразы іс жүзінде жүзеге асырылуға аз қалғанын көрсетеді. Сонымен қатар мақалада Жалпақ кенорнында (Ақтөбе облысы) негізгі силикаттық компонент ретінде қолданылатын қазақстандық диатомиттердің әртүрлі түрлерінен силикальциттер мен ферросиликальциттердің гидратталған түрлерін синтездеу бойынша жүргізілген авторлардың жеке зерттеу нәтижелері келтірілген. Табиғи диатомиттердің негізгі топологиялық және физика-механикалық сипаттамалары зерттелді. Термиялық белсендірілген диатомитті пластификатормен қосып пайдаланғанда құрылыс бұйымдарының сығылған кездегі беріктігі және маркалығы артатыны, олардың су сіңіргіштігі және меншікті салмағы азаятыны көрсетілген. Термиялық белсендірілген жоғары темірлі диатомитті (20-30 % Fe₂O₃) пайдаланғанда бұйымдардың беріктігі күрт артатыны байқалады. Термиялық белсендірілген темірлі диатомитпен жартылай құрғақ сығымдалып, одан кейін будың өңдеуімен алынған композициялардың текшелерінің кубик үлгілеріне рентгенфазалық талдау жүргізу, олардың құрамында хеденбергиттің – Ca(Fe,Mg)Si₂O₆ және хлоритидтың А – FeAl₂SiO₅(OH)₂ 1 массалық % мөлшерінде болатынын көрсетті. Термиялық белсендірілген диатомит, әсіресе олардың жоғары темірлі түрлері қолданылып алынған композициялардың текшелері (кубиктері) мемлекет аралық ГОСТ 379–95 стандарт нормативтік көрсеткіштеріне толық сәйкес келеді және олардан асып түседі. Бұдан былай синтезделген материалдарды алу технологиясы Қазақстандағы құрғақ құрылыс қоспаларын және берік силикатты кірпіштерді өндіретін жаңа өнеркәсіпті құру және істеп тұрғандарды жетілдіру үшін негіз болады.

Түйін сөздер: диатомит, силикальциттер, белсендіру, темірдің қосылыстары, құрғақ құрылыс қоспалары, силикатты кірпіш

Y. E. I. KULDEYEV¹, I. V. BONDARENKO¹, S. S. TEMIROVA¹, Y. E. A. TASTANOV¹, R. YE. NURLYBAYEV²

¹Institute of Metallurgy and Ore beneficiation, Almaty, Kazakhstan, *e-mail: stemirova@mail.ru

²Kazakh National Satpayev Research and Technology University, Almaty, Kazakhstan

COMPOSITION AND PROPERTIES OF KAZAKHSTANI DIATOMACEOUS MINERALS AND SYNTHESIS ON THEIR BASE CALCIUM SILICATES FOR BUILDING PRODUCTION

Abstract. The review covers existing modern technologies and researches on applying diatomaceous minerals as silicate additives to building materials. Specialists of industrially developed countries actively work in this direction and there are some of the works on the stage of implementation now. The article also describes researches of the authors on synthesis of calcium silicate and hydrated forms of ferro-calcium silicates using different kinds of Kazakhstani diatomaceous minerals from Zhalkpak deposit (Aktobe region) as main siliceous component. Main topological and physical-and-mechanical characteristics of natural diatomaceous minerals were studied. It was found out that using thermally activated diatomite mixed with a plasticizing agent enlarges strength under compression and raises the brand of building materials while lowering water absorption and specific weight. It was observed that use of thermally activated highly ferriferous diatomite (20-30 % of Fe₂O₃) increases the strength of building materials dramatically. X-ray phase analysis of the samples of cubes from obtained composites exposed to semi-dry pressing with thermally activated ferrous diatomite followed by steam tempering showed that there were Ca(Fe, Mg)Si₂ and FeAl₂SiO₅(OH)₂ in their composition in the amount up to 1 mas. %. The technical characteristics of cubes of composition obtained with the use of thermally activated diatomite, in particular its highly ferriferous forms, are completely meet requirements of inter-state standards GOST 379–95 to siliceous stones and bricks and sometimes overcome this norms. In future, the technology for obtaining the synthesized materials can become a base to organize new and to improve the existing industries producing dry building mixtures and strong silicate bricks in Kazakhstan.

Key words: diatomite, calcium silicate, activation, iron compounds, dry building mixtures, silicate bricks

Поступила 31.07.2018