

DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29

*Нахаев М.Р., кандидат технических наук, доцент,
Чеченский государственный университет,
Грозненский государственный нефтяной технический университет, Россия,
Саламанова М.Ш. *, кандидат технических наук, доцент,
Грозненский государственный нефтяной технический
университет им. акад. М.Д. Миллионщикова,
Комплексный научно-исследовательский институт
им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Россия,
Исмаилова З.Х., кандидат технических наук, доцент,
Грозненский государственный нефтяной технический
университет им. акад. М.Д. Миллионщикова, Россия*
*Ответственный автор E-mail: madina_salamanova@mail.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ БЕСКЛИНКЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО ЩЕЛОЧНОЙ АКТИВАЦИИ

Аннотация: ресурсо- и энергозатратный портландцемент на данный момент считается самым востребованным материалом в строительной индустрии, но производство его можно отнести к категории вредных производств по количеству выбросов в окружающую среду. Поэтому разработка бесклинкерной технологии получения вяжущих на минеральных тонкодисперсных порошках алюмосиликатной природы активированных щелочным затворителем является актуальным и перспективным направлением.

В работе изучаются закономерности процессов, протекающих при структурообразовании бесклинкерных вяжущих систем щелочной активации на щелочных цементах с использованием доменных гранулированных шлаков в тонкодисперсном состоянии. Приводятся рецептуры и исследуются свойства бесклинкерных вяжущих щелочной активации на минеральных тонкодисперсных порошках из горных пород осадочного и магматического происхождения. Электронно-зондовые исследования и рентгенофазовый анализ выявили в цементном камне присутствие гидратных аморфных соединений близких по составу к цеолитам. Анализ результатов позволил определить оптимальный состав бесклинкерного вяжущего щелочной активации «окремненный мергель + вулканический туф (70:30%) + Na_2SiO_3 + NaOH » с активностью в пределах 42,0 – 54,5 МПа в зависимости от условий твердения образцов.

Ключевые слова: термоактивированный мергель, вулканический туф, бесклинкерные вяжущие, щелочная активация, затворитель, метасиликат натрия, гидроксид натрия

Введение

Основопологающим фактором в процессе формирования структурообразующих элементов, как различных плотных горных пород, так и для всех традиционных минеральных вяжущих является присутствие щелочной среды, создаваемой щелочными и щелочноземельными металлами. Такие минералы, как цеолиты и полевые шпаты, в системе $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ образовались, в результате метаморфических процессов в земной коре, в условиях высоких температур, влажности, давлений, выветривания и цементации щелочными соединениями алюмосиликатных горных пород. Но необходимо учитывать, что в щелочных цементах основную вяжущую функцию выполняют соединения щелочных металлов с силикатами, алюминатами, с водой, которые являются намного активнее щелочноземельных оксидов, и создают более сильную щелочную среду [1, 2].

Механизм создания долговечных композиций из традиционных цементов, основан на синтезе кальциевых солей, дающих при гидратации щелочную среду, насыщенную гидроксидом кальция, которая в дальнейшем станет составляющей кристаллизационных образований. Расположив элементы щелочесодержащих соединений по основности: Cs, K, Na, Li, Ba, Sr, Ca, Mg, мы наблюдаем снижение активности и pH среды слева направо, следовательно, едкие щелочи натрия и калия – это сильные основания, и позволят получать многокомпонентные цементные системы с гидравлическими свойствами [1-7].

Изучение вопросов, касающихся реакционной активности исследуемых соединений, показало, что минералы щелочноземельных алюмосиликатов, силикатов, алюминатов не вступают в реакцию с водой, и для протекания гидратационного взаимодействия, необходимо повысить основность дисперсионной фазы, что возможно введением в затворитель щелочного компонента, что приведет к формированию системы с явным приростом прочностных показателей.

В работах Глуховского [1, 2] предлагается классифицировать гидратационные характеристики щелоч-

ных соединений в зависимости от химического и минералогического составов:

- растворы едких щелочей типа ROH;
- соли слабых кислот, не кремнеземистой природы типа R_2CO_3 , R_2SO_3 , R_2S , RF и т.п.;
- кремнеземистые соли состава $R_2O - (0,5 - 4,0) - SiO_2$;
- алюминатные соли состава $R_2O - Al_2O_3$;
- алюмосиликатные соли типа $R_2O - Al_2O_3 - (2 - 6) SiO_2$;
- соли сильных кислот, не кремнеземистой природы типа RCl, R_2SO_4 .

Гидратационная способность исследовалась [2, 8-11] на образцах, нормальной консистенции, из доменного гранулированного шлака, алюмосиликатной природы, затворенных соответствующими щелочными растворами, с содержанием Na_2O в вяжущем до 3%, в табл. 1 приводится сравнительный анализ шлакощелочных композиций.

Таблица 1

Результаты определения активности шлакощелочных композиций [2]

Table 1

Activity Slag Compositions Determining Results [2]

Прочность при сжатии, МПа										
Вода	NaOH	Na_2CO_3	$NaNO_3$	NaF	Na_2S	Na_2SiO_3	$Na_2O \ 2SiO_2$	$Na_2O \ 4SiO_2$	$Na_2O \ Al_2O_3 \ 2SiO_2$	$Na_2O \ Al_2O_3$
7,5	80	63	55	85	60	130	160	23	10	67

Зависимость показателя прочности исследуемых щелочных композиций от вида щелочного раствора, показала, что активность вяжущих определяется природой затворителя, и достигает максимальных значений в соединениях с щелочных металлов с силикатами, высокой основности [11]. Значит, прочностные показатели щелочных систем, зависят от степени растворимости и диссоциации их в воде.

Алюмосиликатные щелочные затворители, как мы знаем в воде не растворяются, но в результате взаимодействия с ней, отщепляют слабую концентрацию едкого натра. Алюминаты и силикаты натрия легко растворяются водой и результаты исследований [12] подтверждают их гидратационное твердение, присущее щелочноземельным соединениям. Следовательно, дисперсионная щелочная фаза, необходимая для протекания гидратационных процессов формирования цементного камня, будет незаменимым условием, а ранее известные [1, 2, 5, 11] научно-теоретические и экспериментальные подходы в создании гидравлических вяжущих систем на основе оксида кальция, помогут смоделировать алгоритм получения бесклинкерных связок с минеральными порошками щелочного затворения.

Методы и материалы

Закономерности процессов, протекающих при формировании структуры бесклинкерных вяжущих систем щелочной активации исследованы на шлакощелочных цементах (ШЩЦ), с использованием доменных гранулированных шлаков в тонкодисперсном состоянии [4-6, 9, 11]. Установлено, что соединения типа Si-O-Si и Al-O-Si в растворе щелочных металлов сильной концентрации, сначала разрушаются, но через определенное время уплотняются, преобразуясь в коллоидном состоянии.

Механизм процесса формирования структуры довольно длительный и сложный. На первой стадии твердения происходит самопроизвольное растворение дисперсных шлаковых частичек в растворе щелочных металлов. Адсорбционная диспергация приводит к разрушению ионных и ковалентных связей в системах R-O и Si-O-Si и Al-O-Al с последующим преобразованием в щелочные коллоидные растворы. На процесс гелеобразования влияет много факторов, модуль основности шлака, удельная поверхность, концентрация и природа щелочного компонента. Первоначальный этап и характеризуется образованием дисперсионно-коагуляционных растворов, необходимых для формирования начальной структуры. Катион щелочного металла повышает основность pH среды затворения, разрушает алюмосиликаты Si-O-Si и Al-O-Al шлака, провоцирует освобождение катиона шлака Ca^{2+} . Анионы также занимают определенную роль в структурообразовании, являясь резервом для образования первичных продуктов деструкции алюмосиликаткислородного каркаса, способствуют процессам формированию структуры. Катионы Ca^{2+} содержащиеся в составе шлака, ускоряют процесс коагулирования щелочных алюмокремнезелей, и в дальнейшем будут адсорбентами щелочного катиона. Образованные, в результате катионного обмена $2Na^+ \leftrightarrow Ca^{2+}$, первичные новообразования, носят переменный характер.

При использовании в качестве затворителя не кремнезёмистых солей щелочных растворов, образуются нерастворимые в воде соединения из солей щелочноземельных металлов типа RCO_3 , RF_2 и т.д. При затворении соединениями растворимых кремнезёмистых солей щелочных металлов, образующийся гидроксид натрия, способствует гидратации алюмосиликатного геля, синтезу щелочноземельных гидросиликатов низкой основности, гидратных образований переменного состава.

На следующем этапе сформированная конденсационная структура преобразуется за счет массообменных процессов в коллоидной дисперсной системе, и перехода гидрозолей в твердую фазу, что интенсифицирует кристаллизацию структуры. Катионный обмен $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ способствует химическим взаимодействиям в твердых фазах с ионами металлов едких щелочей. Что повлечет связыванию силикатов щелочными соединениями с одновременным протеканием гидратационных процессов [10]. На этой промежуточной стадии структурообразования на состав новообразований оказывает влияние содержание щелочной составляющей. В работе [11] исследовалась в щелочная система, представленная следующей системой « $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NaOH}$ », так вот при мольном соотношении $\text{Ca}(\text{OH})_2 / \text{SiO}_2 = 1$ можно проследить развитие формирования фаз:

- при $\text{NaOH}/\text{SiO}_2 < 1$ – тоберморитная фаза 11,3 Å с кремнекислородными анионами;
- при $\text{NaOH}/\text{SiO}_2 = \text{от } 1 \text{ до } 5$ – тоберморитная фаза 11,3 Å с цепочечной структурой кремнекислородных анионов;
- при $\text{NaOH}/\text{SiO}_2 > 5$ – катион натрия в тоберморитной фазе NaCaHSiO_4 с изолированными SiO_4 .

И на последней стадии структурообразования первичные твердые фазы нестабильного состава развиваются, приводя к формированию прочного кристаллического сростка. Кристаллизационные фазы носят нестабильный характер, и зависят от многих факторов, химического и минералогического составов, составляющих системы, природы щелочного раствора, дисперсности компонентов, условий твердения и др. [8-11]. Щелочная среда высокой основности способствует образованию таких соединений, как тоберморитоподобные низкоосновные гидросиликаты кальция $\text{CSH}(\text{B})$, гидрогранаты переменного состава, гель кремниевой кислоты, щелочные гидроалюмосиликаты типа природных цеолитов и гидрослюды и др. щелочнощелочноземельных соединений переменного состава [11].

Процесс формирования структуры многокомпонентных систем «минеральный порошок – щелочной активатор», требует тщательного исследования, так как особенности вяжущего, его природа, степень дисперсности, щелочной затворитель, скорость их растворения, условия кристаллизации, межфазовая контактная зона и др. факторы в комплексе влияют на твердение и набор прочности цементным камнем. Безусловно, вещественный и количественный составы составляющих этой сложной системы будут оказывать непосредственное влияние на всех этапах структурообразования.

В данной работе представлен свой взгляд на развитие бесклинкерной технологии получения строительных композитов. Учитывая, то, что во многих регионах нашей необъятной страны, отсутствуют запасы отходов черной металлургии, а транспортировка этого ценного сырья, на дальние расстояния, экономически невыгодна, наши старания были направлены на поиск взаимно замещающих, доменным гранулированным шлакам, материалов. И это не случайно, шлаки черной металлургии по своему химическому составу идентичны составу клинкерных минералов, поэтому процессы структурообразования цементного камня будут схожи для обоих видов вяжущего [7, 12-14]. В виду отсутствия шлаков, нами были проведены попытки получения вяжущих щелочного затворения с использованием тонкодисперсных минеральных порошков различного происхождения.

А это является возможным, так как Северный Кавказ обладает огромным природным потенциалом для развития цементной индустрии. В горных регионах сосредоточены запасы цементных мергелей, известняков, опоки, доломитов, крупные месторождения строительных и стекольных песков, известняка-ракушечника, песчаников, природных барханных песков Терской низменности [12].

Для разработки бесклинкерных цементов щелочной активации были приготовлены минеральные тонкодисперсные порошки из горных пород осадочного и магматического происхождения: окремненный мергель и вулканический туф из Кабардино-Балкарской Республики.

Энергодисперсионный микроанализ исследуемых порошков, выполненный с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 3D 200 i, показал существенное различие в химическом составе минеральных добавок:

- вулканический туф, %: $\text{MgO} = 0,20$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13,57$; $\text{SiO}_2 = 73,67$; $\text{K}_2\text{O} = 6,00$; $\text{CaO} = 1,79$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,52$; $\text{TiO}_2 = 2,85$; $\text{ppp} = 0,40$.

- окремненный мергель, %: $\text{MgO} = 1,64$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,42$; $\text{SiO}_2 = 28,6$; $\text{K}_2\text{O} = 1,33$; $\text{CaO} = 16,90$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,08$; $\text{TiO}_2 = 0,47$; $\text{SO}_3 = 0,29$; $\text{ppp} = 43,2$.

Результаты и обсуждения

Для изучения процессов структурообразования цементного камня бесклинкерных вяжущих щелочной активации (БВЩА) проводили электронно-зондовые исследования, на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU системы энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT, рентгенофазовый качественный анализ на дифрактометре «ARLX'TRA». Для проведения исследований приготавливались образцы из тонкодисперсного термоактивированного при температуре 700⁰С окремненного мергеля с удельной поверхностью 1150 м²/кг и тонкоизмельченного вулканического туфа с удельной поверхностью 905 м²/кг, которые смешивались в заданном соотношении, и в последующем затворялись щелочным раствором из товарного жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,24 г/см³. Приготовленные образцы твердели в первые сутки в нормальных условиях при температуре 20±2⁰С, но через 2 суток образцы помещались периодически, в течение 28 суток, в сушильный шкаф при температуре 50⁰С на пару часов.

Исследуемый образец цементного камня характеризуется тонкокристаллической неравномерно кристаллической структурой (рис. 1 в) с округлыми замкнутыми порами диаметром до 0.5 мм (рис. 1 а, б). Типично плотное срастание цементной массы с частицами песчаного заполнителя.

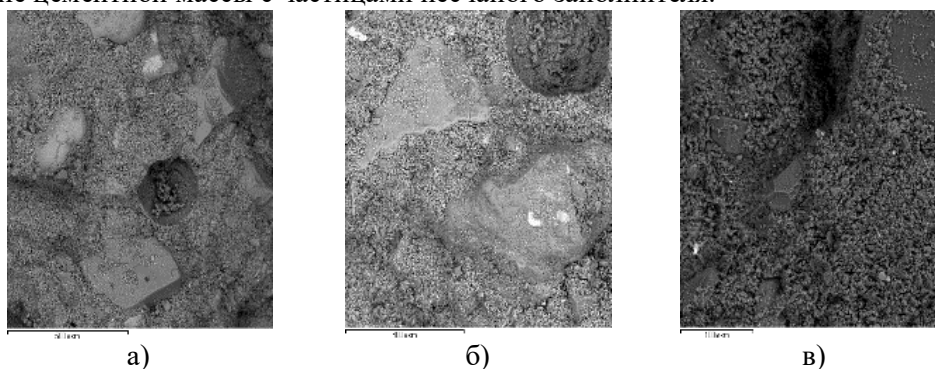


Рис. 1. Микростроение цементного камня БВЩА на основе вулканического туфа и термоактивированного мергеля
Fig. 1. Microstructure of Cement Stone of Clinker-Free Alkaline Binders Based on Volcanic Tuff and Thermally Activated Marl

Главными структурообразующими фазами выступают гидраты натриевых алюмосиликатов кальция, часто образующих плотные срастания кристаллов размером до 10-20 мкм (рис. 2), состав которых по результатам полуколичественного анализа приведён в таблицах 2, 3 (анализы 1, 2), ассоциирующие с кальцитом и, видимо, тонкими фазами Са(ОН)₂ (табл. 3, анализы 3-5), а также тонкими чешуйкам слюд.

Таблица 2

Состав гидратов основной массы, в вес. % (места анализа указаны на рис. 2)

Table 2

Hydrates Composition of the Bulk, in Weight % (Places of Analysis are Shown in Fig. 2)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	Итого
1	8.19	0.22	12.51	46.98	2.05	17.71	0.43	88.09
2	4.13	0.21	6.72	35.82	2.58	24.42	0.52	74.41

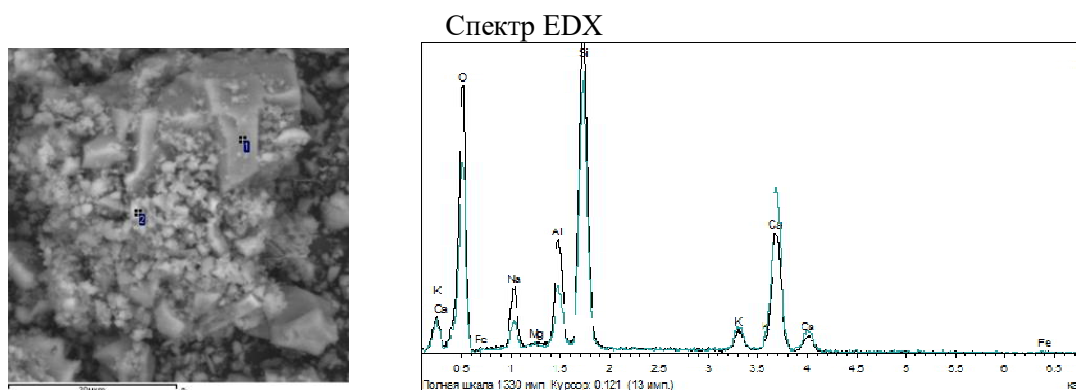


Рис. 2. Гидраты основной массы
Fig. 2. Bulk hydrates

Минералы слюды по данным рентгенофазового и электронно-зондового анализов соответствуют мусковиту; измеренный состав чешуек (размером ~20 мкм) в среднем близок к формуле $(\text{Na}_{0.14}\text{K}_{0.63})_{0.8}(\text{Fe}^{2+}_{0.05}\text{Mg}_{0.02}\text{Al}^{\text{VI}}_{2.01}\text{Ti}_{0.01})_{2.1}(\text{Si}_{3.01}\text{Al}^{\text{IV}}_{0.99})_{4.0}\text{O}_{10}(\text{OH}_{2.00})_{2.0}$, отражающей обогащенность натрием и алюминием.

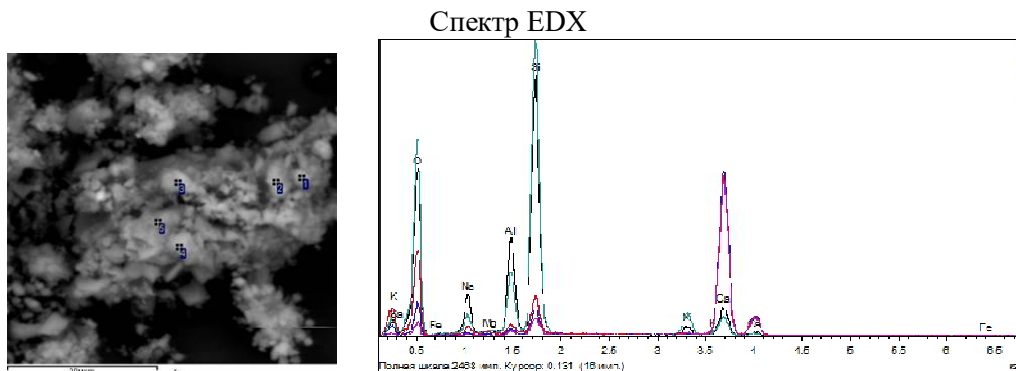


Рис. 3. Фазы основной массы
Fig. 3. Bulk phases

Таблица 3

Состав кристаллов основной массы, в вес. % (места анализа указаны на рис. 3)

Table 3

Composition of Crystals of the Main Mass, wt% (Analysis Locations are Given in Fig. 3)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	Итог
1	8.66	0.00	18.76	61.65	1.66	7.61	0.40	98.74
2	4.24	0.23	12.12	71.43	5.03	5.57	0.28	98.91
3	0.92	0.21	1.14	5.98	0.23	44.52	0.00	53.00
4	2.36	0.54	1.25	4.35	0.27	43.17	0.00	57.44
5	0.74	0.00	1.03	4.06	0.33	42.55	0.00	48.70

По результатам рентгенофазового анализа установлено присутствие кварца, полевых шпатов, близких к альбиту и ортоклазу, слюд, кальцита, цеолитов (рис. 4).

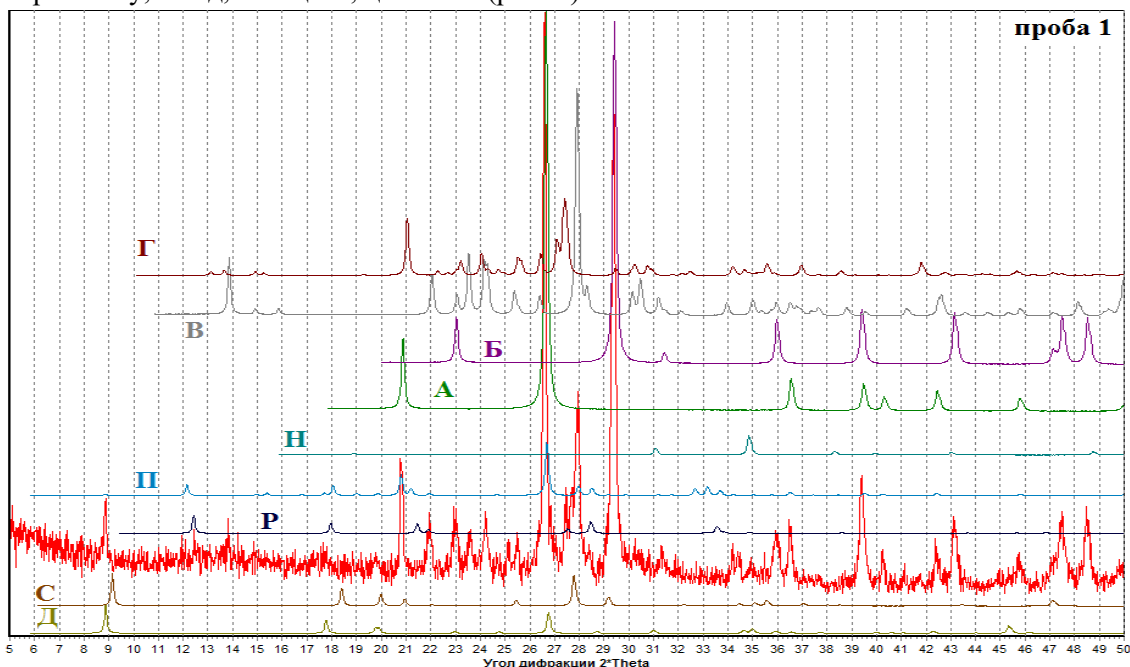


Рис. 4. Дифрактограмма образца 1 в сопоставлении с данными базы PDF-2.

Приведенные фазы сравнения: А – кварц, Б – кальцит, В – альбит, Г – калиевый полевой шпат, Д – мусковит, Н – анальцим, П – жисмондит, Р – гарронит, С – парагонит

Fig. 4. Diffractogram of Sample 1 in Comparison with Database Data PDF-2.

Given Phases of Comparison: A – Quartz, B – Calcite, B – Albite, D – Potassium Feldspar, D – Muscovite, H – Analcim, P – Zhismondit, P – Garronite, C – Paragonite

Цеолит по рентгеноструктурным данным идентифицируется как близкий к гаррониту $\text{Na}_2\text{Ca}_5\text{Al}_{12}\text{Si}_{20}\text{O}_{64} \cdot 27(\text{H}_2\text{O})$, отчетливо выражен основной рефлекс этой фазы ($2\Theta - 12,4 (7,10\text{\AA})$). Электронно-зондовые исследования выявляют присутствие Na-Ca-Si гидратных аморфных соединений с высоким содержанием воды (рис. 5, табл. 4) и сходных с ними по составу фаз, содержащих алюминий и близких по элементному составу к цеолитам (рис. 6; 7, табл. 6 и 7).

Таблица 4

Состав кристаллов слюды, в вес. %

Table 4

Composition of Mica Crystals, wt%

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	Итого
1	1.08	0.53	37.45	44.22	8.19	1.00	0.21	1.13	77.58

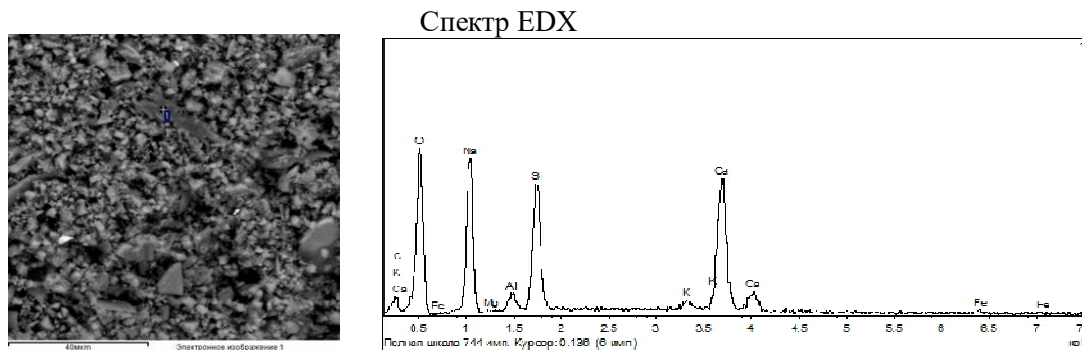


Рис. 5. Гидратные Na-Ca-Si соединения в структуре материала
Fig. 5. Hydrate Na-Ca-Si Compounds in Material Structure

Размер и неровность поверхности препаратов не позволяют провести измерения количественными методами, но можно констатировать близость состава к Са-филлипситу или гаррониту (для которых характерно соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 2$).

Таблица 5

Состав гидратных Na-Ca-Si соединений (место анализа указано на рисунке 6), в вес. %

Table 5

Composition of Hydrate Na-Ca-Si Compounds (Analysis Location Shown in Figure 6), wt%

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	Итого
1	13.52	0.04	1.43	11.80	0.55	12.31	0.72	40.36

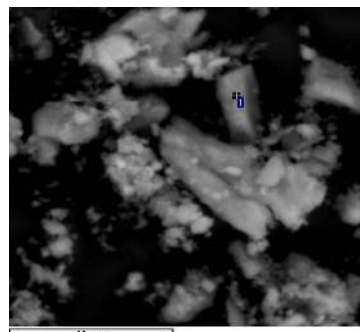


Рис. 6. Гидратные Na-Ca-Si соединения в структуре материала
Fig. 6. Hydrate Na-Ca-Si Compounds in Material Structure

Таблица 6

Состав цеолитовой фазы (место анализа указано на рис. 7), в вес. %

Table 6

Zeolite Phase Composition (Analysis Location Shown in Figure 7), wt%

Спектр	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	Итого
1	5.12	17.07	40.91	0.39	6.47	0.13	71.09

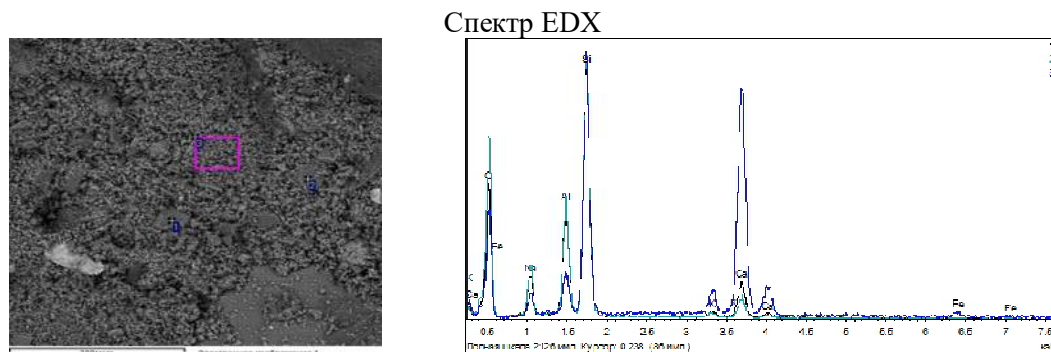


Рис. 7. Спектры EDX кристаллов, близких к цеолитам (1, 2) и основной массы (3)

Fig. 7. EDX Spectra of Crystals Close to Zeolites (1, 2) and Bulk (3)

По результатам рентгенофазового анализа в цементном камне многокомпонентной системы «минеральный порошок – щелочной активатор» с использованием тонкодисперсных порошков вулканического туфа и термоактивированного мергеля при 700 °С, установлено присутствие кварца, полевых шпатов, близких к альбиту и ортоклазу, слюд, кальцита, цеолитов. Электронно-зондовые исследования также выявляют присутствие гидратных аморфных соединений Na-Ca-Si сходных по составу фаз, содержащих алюминий и близких по элементному составу к цеолитам.

Для исследования кинетики набора прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации, были приготовлены различные композиции из тонкодисперсного термоактивированного при температуре 700 °С окремненного мергеля с удельной поверхностью 1150 м²/кг и тонкоизмельченного вулканического туфа с удельной поверхностью 905 м²/кг, активированные щелочным раствором, результаты испытаний приводятся в табл. 7.

Таблица 7

Кинетика набора прочности вяжущего щелочного затворения

Table 7

Kinetics of Strength Gain of Binding Alkaline Closure

Щелочной активатор	Предел прочности при сжатии, МПа на сутки								
	после ТО			в воде			нормальные условия		
	28	90	180	28	90	180	28	90	180
окремненный мергель + вулканический туф (30:70%)									
Na ₂ SiO ₃ + NaOH	24,5	25,1	26,0	18,3	23,4	24,5	18,3	18,4	19,5
Na ₂ SiO ₃	20,1	20,5	22,3	16,5	17,3	18,5	16,6	17,2	17,6
NaOH	15,0	15,1	15,3	12,4	13,3	13,4	12,2	13,0	13,3
окремненный мергель + вулканический туф (50:50%)									
Na ₂ SiO ₃ + NaOH	43,0	47,5	49,7	41,8	43,8	44,7	38,0	41,8	42,7
Na ₂ SiO ₃	34,3	35,8	36,9	30,2	31,4	32,7	31,5	32,3	33,6
NaOH	25,2	27,8	28,6	24,8	26,1	27,6	27,5	27,4	27,9
окремненный мергель + вулканический туф (70:30%)									
Na ₂ SiO ₃ + NaOH	46,5	52,4	54,5	45,6	47,6	49,6	42,0	43,7	44,3
Na ₂ SiO ₃	37,2	38,6	40,8	35,4	38,4	39,9	34,1	36,3	37,5
NaOH	30,0	31,6	32,7	30,4	31,2	33,1	28,7	28,8	30,9

Выводы

Полученные результаты показали, что оптимальным можно считать состав бесклинкерного вяжущего щелочной активации «окремненный мергель + вулканический туф (70:30%) – Na₂SiO₃ + NaOH», активность цементного камня изменяется в пределах 42,0 – 54,5 МПа в зависимости от условий твердения образцов. Можно отметить, что тепловая обработка благоприятно сказывается на кинетике набора прочности цементного камня. Активация раствором едкого натрия исследуемых многокомпонентных систем уступает метасиликату натрия.

Таким образом, полученные результаты исследований позволят значительно расширить область применения бесклинкерных цементов щелочного затворения в регионах, испытывающих дефицит отходов черной металлургии, и стать альтернативой энерго- и ресурсозатратному портландцементу, и безусловно, появится возможность хотя бы частичной замены его в строительной отрасли, так как проведенные исследования подтвердили присутствие гидратных аморфных соединений Na-Ca-Si сходных по составу фаз к цеолитам.

Литература

1. Глуховский В.Д. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. 224 с.
2. Глуховский В.Д., Пашков И.А., Григорьев В.С. Комплексное использование доменных и электротермофосфорных шлаков в производстве высокопрочных цементов и бетонов // Известия Вузов: Строительство и архитектура, 1980. №5. С. 62 – 66.
3. Кривенко П.В., Пушкарева К.К. Долговечность шлакощелочного бетона. Киев: Будивельник. 1993. 224 с.
4. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008. 592 pp.
5. Duxson P., Fernandez A., Provis J. Geopolymer technology: The current state of the art // J. Mater. Sci. 2007. V. 42. P. 2917 – 2933.
6. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Исмаилова З.Х. Влияние активных центров поверхности на реакционную способность минеральных добавок // Научный журнал «Современная наука и инновации» (Ставрополь – Пятигорск). 2017. №2 (18). С.168 – 175.
7. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. Т. 46. №2. С. 65 – 70.
8. Никифоров Е.А., Логанина В.И., Симонов Е.Е. Влияние щелочной активации на структуру и свойства диатомита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №2. С. 30 – 32.
9. Кривенко П.В. Физико-химические основы долговечности шлакощелочного камня // Цемент. 1990. №11. С. 2 – 4.
10. Lecomte I., Henrist C., Liegeois M. Micro-structural comparison between geopolymers, alkali-activated slag cement and Portland cement // J. Eur. Cer. Soc. 2006. Vol. 26. P. 789 – 797.
11. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Properties of the slag-alkaline bindings – specific surface and granulometric of ground blast furnace slags relation // 17. Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. Band 1. Weimar. 2009. P. 1-0499-0504.
12. Саламанова М.Ш., Муртазаев С-А.Ю. Получение жидкостекольных силикатнатриевых щелочных растворов из кремнеземсодержащих добавок // Научно-технический журнал Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2019. №1 (15). С. 58 – 67.
13. Murtazayev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Alaskhanov A.Kh., Ismailova Z.Kh. Development of Multicomponent Binders Using Fine Powders // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 500 – 503.
14. Bataev D.K-S., S-A.Yu. Murtazayev, Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 457 – 460.

References

1. Gluhovskij V.D. SHlakoshchelochnye betony na melkozernistyh zapolnitelyah. Kiev: Vishcha shkola. Golovnoe izd-vo, 1981. 224 p. (rus.)
2. Gluhovskij V.D., Pashkov I.A., Grigor'ev B.C. Kompleksnoe ispol'zovanie domennyh i elektrotermofosfornyh shlakov v proizvodstve vysokoprochnyh cementov i betonov. Izvestiya Vuzov: Stroitel'stvo i arhitektura, 1980. 5. P. 62 – 66. (rus.)
3. Krivenko P.V., Pushkareva K.K. Dolgovechnost' shlakoshchelochnogo betona. Kiev: Budivel'nik. 1993. 224 p. (rus.)
4. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008. 592 p.
5. Duxson R., Fernandez A., Provis J. Geopolymer technology: The current state of the art. J. Mater. Sci. 2007. 42. P. 2917 – 2933.
6. Murtazaev S-A.YU., Salamanova M.SH., Sajдумов M.S., Ismailova Z.H. Vliyanie aktivnyh centrov poverhnosti na reakcionnyuyu sposobnost' mineral'nyh dobavok. Nauchnyj zhurnal «Sovremennaya nauka i innovacii» (Stavropol' – Pyatigorsk). 2017. 2 (18). P.168 – 175. (rus.)
7. Murtazaev S-A.YU., Salamanova M.SH. Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoj prirody. Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2018. 46 (2). P. 65 – 70. (rus.)
8. Nikiforov E.A., Loganina V.I., Simonov E.E. Vliyanie shchelochnoj aktivacii na strukturu i svojstva diatomita. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2011. 2. P. 30 – 32. (rus.)

9. Krivenko P.V. Fiziko-himicheskie osnovy dolgovechnosti shlakoshchelochного kamnya. Cement. 1990. 11. P. 2 – 4. (rus.)
10. Lecomte I., Henrist C., Liegeois M. Micro-structural comparison between geopolymers, alkali-activated slag cement and Portland cement. J. Eur. Cer. Soc. 2006. 26. P. 789 – 797.
11. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Properties of the slag-alkaline bindings – specific surface and granulometric of ground blast furnace slags relation. 17. Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. Band 1. Weimar. 2009. P. 1-0499-0504.
12. Salamanova M.SH., Murtazaev S-A.YU. Poluchenie zhdkostekol'nyh silikatnatrievykh shchelochnykh rastvorov iz kremnezemsoderzhashchih dobavok. Nauchno-tehnicheskij zhurnal Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki. 2019. 1 (15). P. 58 – 67. (rus.)
13. Murtazayev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Alaskhanov A.Kh., Ismailova Z.Kh. Development of Multicomponent Binders Using Fine Powders. Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. 1. P. 500 – 503.
14. Bataev D.K-S., S-A.Yu. Murtazayev, Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders. Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. 1. P. 457 – 460.

*Nakhaev M.R., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Chechen State University,
Grozny State Oil Technical University, Russia,
Salamanova M.Sh. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Academician M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University,
Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russia,
Ismailova Z.Kh., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Academician M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Russia*
*Corresponding author E-mail: madina_salamanova@mail.ru

REGULARITIES OF THE PROCESSES OF FORMATION OF THE STRUCTURE AND STRENGTH OF A CLINKER-FREE BINDER OF ALKALINE ACTIVATION

Abstract: resource- and energy-consuming Portland cement is currently considered the most popular material in the construction industry, but its production can be attributed to the category of harmful industries in terms of the amount of emissions into the environment. Therefore, the development of a clinker-free technology for the production of binders based on mineral fine powders of aluminosilicate nature activated by an alkaline coater is a relevant and promising direction.

In the work, the laws of the processes occurring during the structure formation of clinker-free binder systems of alkaline activation on alkaline cements using blast furnace granulated slags in a finely dispersed state are studied. Formulations are given and the properties of clinker-free binders of alkaline activation on mineral fine powders from rocks of sedimentary and magmatic origin are investigated. Electron probe studies and X-ray phase analysis revealed the presence of hydrated amorphous compounds close in composition to zeolites in cement stone. An analysis of the results allowed us to determine the optimal composition of clinker-free binder alkaline activation “silicified marl + volcanic tuff (70: 30%) + Na₂SiO₃ + NaOH” with activity ranging from 42.0 - 54.5 MPa, depending on the conditions of hardening of the samples.

Keywords: thermally activated marl, volcanic tuff, clinker-free binders, alkaline activation, cinder, sodium metasilicate, sodium hydroxide

Для цитирования: Нахаев М.Р., Саламанова М.Ш., Исмаилова З.Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. №1. С. 21 – 29. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29

For citation: Nakhaev M.R., Salamanova M.Sh., Ismailova Z.Kh. Regularities of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation. Construction Materials and Products. 2020. 3 (1). P. 21 – 29. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29

Поступила в редакцию 11 декабря 2019 г.
Принята в доработанном виде 10 января 2020 г.
Одобрена для публикации 3 февраля 2020 г.

Received: December 11, 2019.
Revised: January 10, 2020.
Accepted: February 3, 2020.