



УДК 691: 666.972.16

Гришина Анна Николаевна

к.т.н., старший научный сотрудник, доцент

Email: GrishinaAN@mgsu.ru,

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Адрес организации: 129370, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Королев Евгений Валерьевич

д.т.н., проректор, профессор

Email: prorector_nr@spbgasu.ru,

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

Химический состав гидросиликатов бария для модифицирования портландцемента

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является установление влияния различных солей бария, а также их содержания на химический состав продуктов, образующихся при их взаимодействии с гидросиликатами натрия. Задачами исследования являются: установить влияние растворимости солей бария на химический состав продуктов гидрохимического синтеза; установить вид и содержание соли-осадителя, обеспечивающие максимальный выход продукта, предназначенного для модифицирования цементных систем – гидросиликатов бария, а также стабильный химический состав продуктов осаждения.

Результаты. Установлено, что на ИК-спектрах продукт осаждения гидросиликатов натрия хлоридом бария имеет отклики колебаний силикатных структур с более близкой интенсивностью, чем при использовании осадителя нитрата бария. Дополнительный дифференциальный термический анализ продемонстрировал высокое содержание карбоната бария в продукте осаждения при использовании нитрата бария. Показано, что применение хлорида бария позволяет получать продукт стабильный при использовании осадителя в количестве 80-90% от стехиометрического, который отличается однородным содержанием силикатной фазы и низким содержанием карбонатов. При использовании в качестве осадителя нитрата бария происходит существенная карбонизация продукта осаждения, так стабильный состав модификатора наблюдается только при использовании осадителя в количестве 70% от стехиометрического.

Выводы. Для синтеза модификатора, основным компонентом которого являются гидросиликаты бария и предназначенного для регулирования структурообразования строительных материалов на минеральных вяжущих, целесообразно использовать насыщенный раствор хлорида бария. При этом для предотвращения карбонизации получаемого продукта при совмещении гидросиликатов натрия с раствором хлорида бария необходимо избегать воздухоовлечения.

Ключевые слова: гидросиликаты бария, гидрохимический синтез, химический состав, композиционные цементы.

Для цитирования: Гришина А. Н., Королев Е. В. Химический состав гидросиликатов бария для модифицирования портландцемента // Известия КГАСУ. 2021. №4 (58). С. 39-48. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_39.

1. Введение

Портландцемент является наиболее востребованным минеральным вяжущим строительной отрасли. Однако его производство сопровождается выбросами CO₂, объем которых составляет около 7 % от его мировых выбросов [1]. Снижение этого показателя, как правило, достигается за счет разработки композиционных вяжущих, содержащих

меньшую долю цементного клинкера в своем составе. Однако фактически доля произведенного бездобавочного портландцемента в 2020 г. составила 61,6 % (34 511 тыс. т) [2]. Отсюда очевидно, что разработка композиционных вяжущих веществ является актуальной задачей для цементной промышленности. Используемые минеральные компоненты, в том числе и модифицирующие добавки, оказывают существенное влияние на структурообразование цементного камня и поэтому должны соответствовать ряду требований, а именно: иметь стабильный химический и гранулометрический состав, повышать или сохранять марку портландцемента при уменьшении расхода цементного клинкера. В этом случае очевидные преимущества имеют искусственные компоненты, синтез которых проводится в контролируемых условиях. Согласно [3-6], положительное влияние на свойства композиционного вяжущего (прочность при изгибе и при сжатии), а также материалов, получаемых с его применением (марка по морозостойкости, адгезионная прочность, коэффициент химической стойкости), оказывают минеральные компоненты силикатной химической природы, например, гидросиликаты металлов, полученные гидрохимическим синтезом. В работах [3, 7] показана эффективность применения гидросиликатов бария, синтезированных с использованием растворов гидросиликатов натрия (жидкого стекла) и водных растворов солей – хлорида или нитрата бария [8]. Поэтому представляет интерес установление влияния осадителей на химический состав получаемых продуктов осаждения. Учитывая, что жидкое стекло представляет собой раствор, стабилизированный катионами щелочного металла, то при изменении pH может происходить как образование кремниевой кислоты [9], так и солей-гидросиликатов [10- 12]. Особенности использования растворов хлорида или нитрата бария является их существенно различная растворимость в воде, а именно: растворимость двуводного хлорида бария $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ – 42,8 г/100 мл при 20 °С, а нитрата бария $Ba(NO_3)_2$ – 9 г/100 мл при 20 °С [13]. Поэтому при введении равного количества вещества бария ($\nu(BaO)$: $\nu(SiO_2)$) объем раствора существенно изменяется. Указанное приведет к существенному изменению pH и, как следствие, к образованию геля кремниевой кислоты из раствора гидросиликатов натрия, при этом синтез гидросиликатов бария будет осуществлен сложнее. Поэтому целью исследования является выявление особенностей химического состава продуктов осаждения гидросиликатов натрия водными растворами солей бария. Задачей исследования является установление влияния вида соли и ее содержания на силикатную и карбонатную составляющую в получаемых продуктах гидрохимического синтеза.

2. Материалы и методы

Для установления влияния вида аниона соли бария на химический состав получаемых продуктов проведены исследования продуктов гидрохимического синтеза, проводимого с использованием солей бария в количестве 70...100 % от стехиометрического. Для синтеза гидросиликатов бария использовались гидросиликаты натрия (натриевое жидкое стекло, изготовленное согласно ГОСТ 13078-81), с силикатным модулем $M_{Si} = 3,0$ и концентрацией силикат-глыбы 26 %. Для осаждения использовались насыщенные водные растворы солей – хлорида бария (ГОСТ 4108-72) и нитрата бария (ГОСТ 3777-76). Продукты осаждения отмывались от водорастворимых солей с использованием дистиллированной воды и высушивались естественным путем. Изучение продуктов синтеза проведено методами ИК-Фурье спектроскопии с использованием прибора Agilent Cary 630 и дифференциально-термического анализа с применением калориметра Linseis DSC PT-1600.

3. Результаты

Результаты исследований химического состава гидросиликатов бария, полученных методом ИК-Фурье спектроскопии, представлены на рис. 1 и 2. Для анализа спектрограмм целесообразно оценивать интенсивность откликов при постоянном волновом числе. Значения интенсивностей приведены в табл. 1.

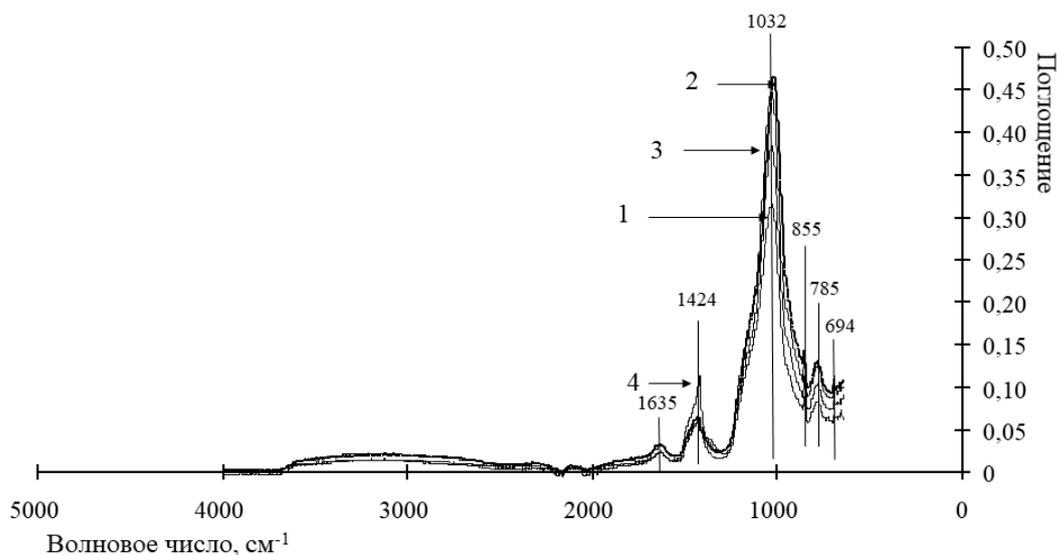


Рис. 1 – ИК-спектры гидросиликатов бария, синтезированных с использованием раствора нитрата бария:
 1 – количество хлорида бария 100 % от стехиометрического; 2 – то же, 90 %;
 3 – то же, 80 %; 4 – то же, 70 %
 (иллюстрация авторов)

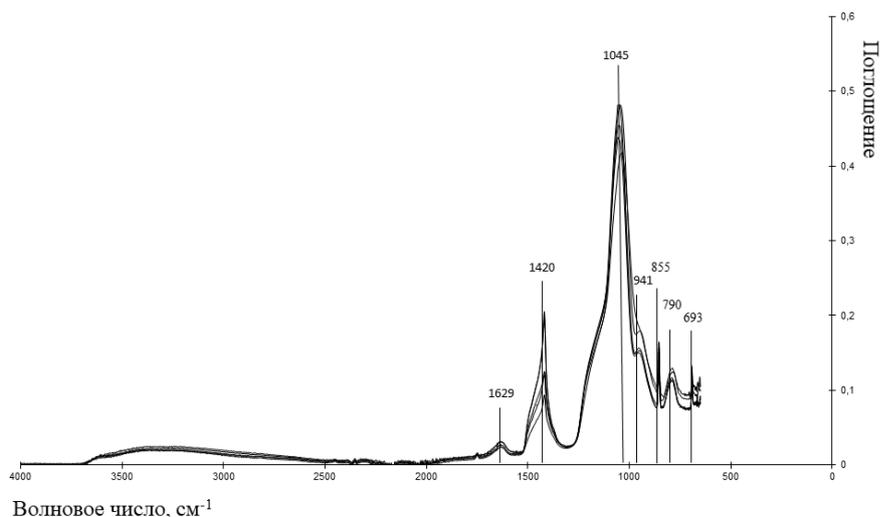


Рис. 2 – ИК-спектры гидросиликатов бария, синтезированных с использованием раствора хлорида бария
 (иллюстрация авторов)

Таблица 1

Интенсивность откликов силикатов, синтезированных при использовании хлорида или нитрата бария

Содержание осадителя	Волновое число, см ⁻¹					
	1629-1637	1420-1421	1021-1045	855-858	783-790	692-694
Гидросиликаты бария, синтезированных с использованием раствора нитрата бария						
100%	0,011	0,046	0,262	0,021	0,023	0,015
90%	0,015	0,041	0,373	0,023	0,029	0,015

Продолжение таблицы 1

80%	0,013	0,048	0,322	0,016	0,028	0,017
70%	0,014	0,090	0,371	0,041	0,035	0,025
Гидросиликаты бария, синтезированных с использованием раствора хлорида бария						
100%	0,015	0,009	0,344	0,0580	0,033	0,027
90%	0,011	0,175	0,374	0,088	0,036	0,048
80%	0,012	0,186	0,421	0,088	0,039	0,051
70%	0,013	0,105	0,395	0,051	0,037	0,028
60%	0,014	0,0740	0,415	0,024	0,041	0,020

Данные табл. 1 указывают на близкие значения волновых чисел, при которых наблюдаются отклики, то есть образуются соединения одинаковой химической природы, однако изменения величин интенсивностей аномалий свидетельствуют о различных соотношения продуктов синтеза в модификаторе при варьировании как вида соли-осадителя, так и количества. Кроме того, использование нитрата бария, в отличие от хлорида бария, на позволяет получать высокое стабильное содержание гидросиликатов (полоса при 1420-1421 см^{-1}).

Учитывая, что метод ИК-Фурье спектроскопии имеет ограничения, в данном случае колебания связей Me-O расположены вне диапазона исследований, дополнительно химический состав гидросиликатов бария исследован методом дифференциального термического анализа. Результаты исследований приведены на рис. 3 и 4 и в табл. 2. Для анализа термограмм использовалась величина энтальпии аномалий, позволяющая оценить качественный и количественный состав продуктов синтеза.

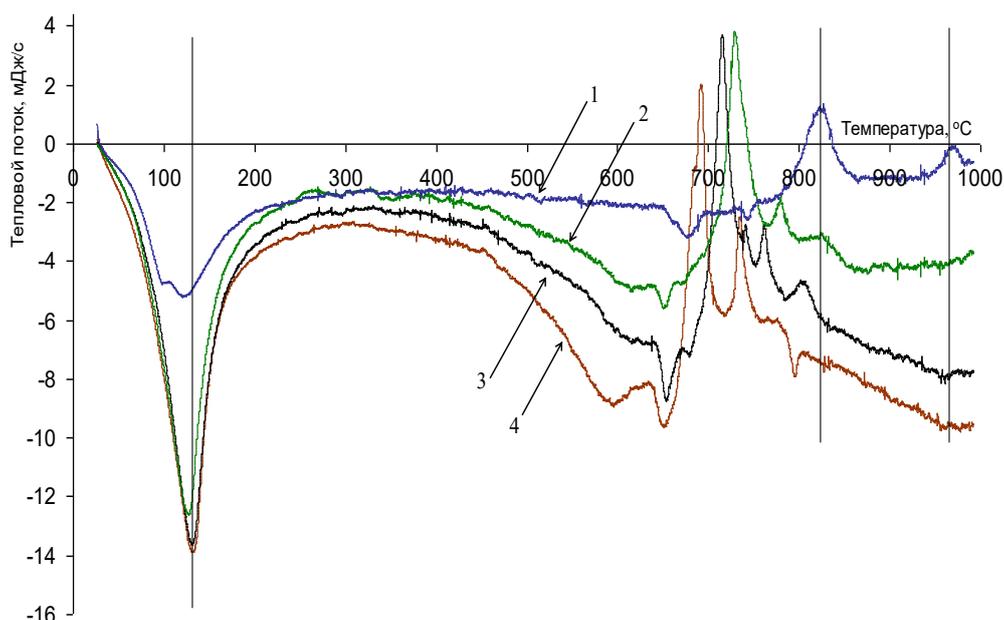


Рис. 3 – Термограммы гидросиликатов бария, синтезированных с использованием BaCl_2 :
 1 – количество хлорида бария 100 % от стехиометрического;
 2 – то же, 90 %; 3 – то же, 80 %; 4 – то же, 70 %
 (иллюстрация авторов)

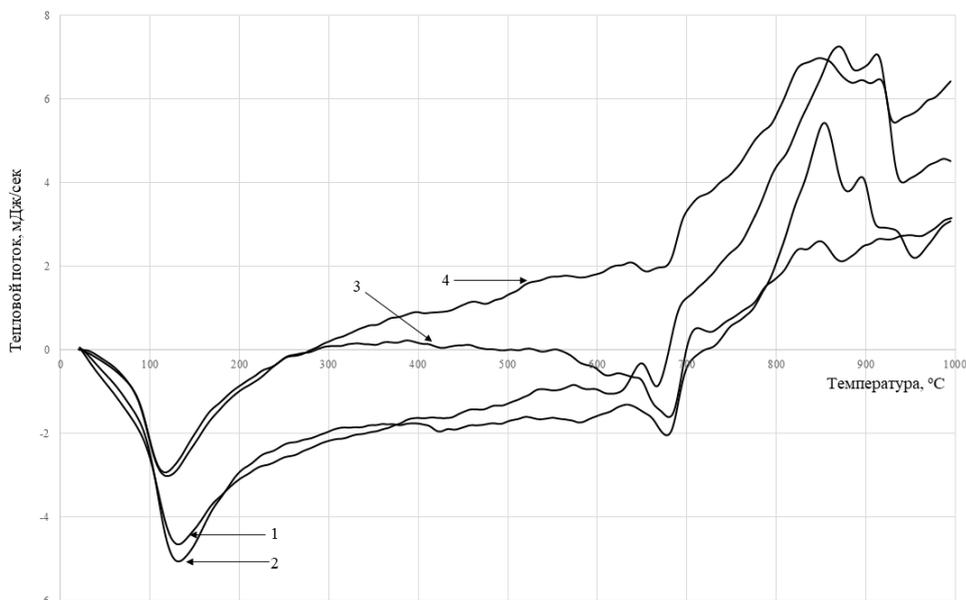


Рис. 4 – Термограммы гидросиликатов бария, синтезированных с использованием $Ba(NO_3)_2$:
 1 – количество хлорида бария 100 % от стехиометрического;
 2 – то же, 90 %; 3 – то же, 80 %; 4 – то же, 70 %
 (иллюстрация авторов)

Таблица 2

Энтальпия аномалий на термограммах, Дж/г

Содержание осадителя	Температура минимума/максимума, °C							
	125-131	596	650-670	735	675-817	725-774	790-800	962
Осадитель – хлорид бария								
70%	-95,72	-8,83	-4,65	–	22,89	6,90	-1,84	–
80%	-99,97	–	-4,07	–	24,34	2,17	2,86	–
90%	-127,28	–	-1,95	–	37,57	2,78	–	–
100%	-106,27	–	-8,83	-1,48	41,29	–	–	4,92
Осадитель – нитрат бария								
70%	-118,38	–	–	–	–	–	–	–
80%	-89,32	–	–	–	-16,66	-0,70	–	–
90%	-119,10	–	–	–	-11,38	–	–	–
100%	-219,05	–	–	–	-9,17	–	–	–

Анализ табл. 2 подтверждает, что использование осадителя хлорида бария позволяет получать более стабильный в химическом отношении продукт. Кроме того, при использовании нитрата бария происходит интенсивная карбонизация продукта осаждения.

4. Обсуждение

ИК-спектрограммы, представленные на рис 1 и 2, показывают, что значения волновых чисел, при которых наблюдаются аномалии, близки между собой, однако имеют различную интенсивность (табл. 1). Следует первоначально отделить отклики, характеризующие содержание воды в продукте осаждения; на ее наличие указывает широкая полоса при $3450...3350\text{ см}^{-1}$, соответствующая валентным колебаниям и полоса около $1629...1637\text{ см}^{-1}$, характерная для деформационных колебаний адсорбированных молекул воды. Учитывая, что материал перед исследованиями был высушен до естественной влажности без использования сушильных аппаратов, то широкий отклик при волновых числах $1629...1637\text{ см}^{-1}$ принадлежит колебаниям воды, находящимся как в состоянии капиллярной конденсации, так и димерно или мономолекулярно

адсорбированных [14]. Наличие воды в составе синтезированных продуктов также подтверждается откликом при $\sim 950 \text{ см}^{-1}$, соответствующим либрационному колебанию р молекул воды [14]. Указанный отклик четко выражен для продуктов, синтезированных при использовании хлорида бария и слабо выражен для продуктов, полученных с использованием нитрата бария. Отклик при волновых числах $1629 \dots 1637 \text{ см}^{-1}$ характерен для деформационных колебаний адсорбированных молекул воды. Некоторые отличия в интенсивности откликов (табл. 1) могут указывать, в том числе, и на различное содержание силикатов в полученных продуктах осаждения. Поэтому следует провести анализ характеристик откликов силикатов.

Согласно данным табл. 1 при использовании нитрата бария в качестве осадителя интенсивность отклика при $1021\text{-}1045 \text{ см}^{-1}$ имеет существенные отличия, при этом применение осадителя хлорида бария оказывает меньшее влияние на величину отклика (не более 20 %), в то время как при осаждении гидросиликатов натрия BaNO_3 интенсивность отклика существенно изменяется (до 42 %). Также важно отметить, что при использовании указанного осадителя в количестве 100 % от стехиометрического наблюдается снижение интенсивности рассматриваемого отклика. Данная аномалия ($1000 \dots 1040 \text{ см}^{-1}$) характеризует валентные колебания открытых и циклических цепей тетраэдров кремнекислородных каркасов Si-O-Si , а также с асимметричными и симметричными колебаниями концевых связей Si-O [10, 14]. Для материала, полученного с использованием нитрата бария, наблюдается увеличение интенсивности откликов при 777 и 692 см^{-1} , которые характеризуют симметричные колебания мостиковых связей Si-O-Si в $[\text{SiO}_4]$ -тетраэдрах [10] при содержании осадителя 70 % от стехиометрического. При этом использование хлорида бария позволяет получать стабильный продукт при использовании осадителя в количестве 80-90 % от стехиометрического.

Таким образом, вид осадителя оказывает существенное влияние на состав получаемого продукта гидрохимического синтеза. Использование хлорида бария приводит к получению продукта с более постоянным составом в более широком диапазоне содержания осадителя, а при использовании нитрата бария наблюдается существенное изменение содержания силикатной фазы, что может быть обусловлено формированием кремниевой кислоты, которая затрудняет промывание осадка или частично вымывается. Учитывая возможные наложения откликов на ИК-Фурье спектрограммах, были дополнительно проведены исследования методом дифференциально-термического анализа (рис. 3 и 4).

Анализ полученных данных (рис. 3 и 4, табл. 2) показывает, что термограммы при температурах выше $700 \text{ }^\circ\text{C}$ имеют существенные отличия, которые характеризуют наличие карбоната бария, а именно: переходы из α -модификации, устойчивой до $810 \text{ }^\circ\text{C}$, в β -модификацию, которая устойчива в интервале $810 \dots 960 \text{ }^\circ\text{C}$ и далее в γ -модификацию при температуре выше $960 \text{ }^\circ\text{C}$ [15]. Указанные превращения являются экзотермическими и наблюдаются при использовании нитрата бария для синтеза гидросиликатов бария, а также небольшой отклик наблюдается при использовании для синтеза хлорида бария при его содержании 100 % от стехиометрического количества. Для термограмм рис. 4 эндотермические эффекты при 670 и $735 \text{ }^\circ\text{C}$ вызваны стеклованием аморфных форм дегидратированных силикатов бария [16], которые четко прослеживаются на рис. 3. Отклики при $550 \dots 650 \text{ }^\circ\text{C}$ имеют существенно различную интенсивность: на рис. 3 они четко выражены, а на рис. 4 – незначительны, особенно для состава № 4. Экзотермические эффекты, наблюдающиеся при $690 \dots 725 \text{ }^\circ\text{C}$, могут свидетельствовать о взаимодействии карбоната бария и кремниевой кислоты ($\sim 700 \text{ }^\circ\text{C}$) с образованием $\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$ [17]. В этом случае, карбонат бария химически взаимодействует и поэтому не преобразуется при температуре выше $810 \text{ }^\circ\text{C}$. А при использовании нитрата бария указанного химического взаимодействия не протекает и карбонат бария претерпевает естественные превращения при нагревании. Так же следует отметить нестабильность химического состава, что, вероятно, обуславливается формированием большего количества кремниевой кислоты в начальный период, которая менее активно вступает во взаимодействие с ионами бария. В связи с этим при перемешивании смеси и промывании продуктов синтеза происходит образование карбоната бария. Также формирование

кремниевой кислоты из-за изменения рН и введения электролита в начальный период затрудняет технологические процессы удаления водорастворимых продуктов.

5. Заключение

Таким образом, проведенные исследования показывают, что использование растворов хлорида бария позволяет получать стабильный продукт, концентрация осадителя при этом должна составлять 80-90% от стехиометрического соотношения, увеличение содержания осадителя приводит к его карбонизации. При синтезе гидросиликатов бария необходимо использовать концентрированные растворы и вводить одновременно весь объем раствора хлорида бария, а также перемешивать смесь без воздухововлечения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования (проект «Теоретико-экспериментальное конструирование новых композитных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз», номер проекта # FSWG-2020-0007).

Список библиографических ссылок

1. Производители цемента сокращают выбросы CO₂ и «озеленяют» бетон // Платформа "Устойчивое развитие". URL: <https://sdpl.ru/1051-proizvoditeli-menta-sokraschayut-vybrosy-so2-i-ozelenyayut-beton.html> (дата обращения 05.08.2021).
2. ГС-Эксперт: Рынок цемента итоги 2020 года // Отраслевой портал cement.ru. URL: <https://cement.ru/nashi-novosti-i-stati/item/9731-gs-ekspert-rynok-tsementa-itogi-2020-goda.html> (дата обращения 07.08.2021).
3. Korolev E.V., Grishina A.N. Influence of nanoscale barium hydrosilicates on composition of cement stone // Key Engineering Materials. 2016. V. 683. Pp. 90-94. DOI: 10.4028 / www.scientific.net / KEM.683.90.
4. Loganina V., Zhegera K., Fediuk R., Timokhin R., Liseitsev Y., Zayakhanov M. Amorphous aluminosilicates as a structure-forming additive in cementitious systems // Journal of materials in civil engineering. 2020. V. 32. № 5. 06020004. DOI: 10.1061 / (ASCE) MT.1943-5533.0002995.
5. Zhegera K.V., Pyshkina I.S., Martyashin G.V. Evaluations of efficiency of the use of amorphous aluminosilicates in dry mixes // Materials Science Forum. 2018. V. 945 MSF. Pp. 109-114. DOI: 10.4028 / www.scientific.net / MSF.945.109.
6. Макридин Н.И., Вернигорова В.Н., Максимова И.Н. О микроструктуре и синтезе прочности цементного камня с добавками ГСК // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 8. – С. 37-42.
7. Grishina A.N., Eremin A.V. Effect of barium hydrosilicates on the early hydration rate of portland cement // Inorganic Materials. 2016. V. 52. № 9. Pp. 973-977. DOI: 10.1134 / S0020168516090077
8. Кочергина М.П., Александров А.А. Опыт применения отвердителей в составах строительных жидкостекольных композиций // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2019. № 6 (39). С. 301-305.
9. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Золь-гель технологии. Нанодисперсный кремнезем [Электронный ресурс]. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. URL: <https://obuchalka.org/2017070295200/zol-gel-tehnologii-nanodispersnii-kremnezem-shabanova-n-a-sarkisov-p-d-2015.html> (дата обращения 17.07.2021).
10. Гордиенко П.С., Ярусова С.Б., Супонина А.П., Крысенко Г.Ф., Буланова С.Б., Колзунов В.А., Баринов Н.Н. Гидрохимический синтез силикатов кальция в системах CaCl₂ – Na₂SiO₃ – H₂O, CaSO₄·2H₂O – Na₂SiO₃ – H₂O, CaSO₄·2H₂O – SiO₂·nH₂O – КОН. Состав, структура, свойства // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2009. № 2 (144). С. 30-33.
11. Меледина Л.А. Новые наполнители и промоторы адгезии для резин, полученные на основе синтетических слоистых силикатов: автореферат дисс. ... канд. хим. наук:

- 05.17.06 / Меледина Людмила Афанасьевна. Москва, 2006. URL: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01003306150.pdf (дата обращения 01.07.2021).
12. Ivaschenko, Y., Kochergina, M., Pavlova, I. Structure formation and properties of thermochemically modified silicate-sodium compositions. 2019. E3S Web of Conferences. 97. 02030. DOI: 10.1051 / e3sconf / 20199702030.
13. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии Наукова думка, 1987. 991 с.
14. Чукин Г, Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезёма. М.: Типография Паладин, ООО «Принта», 2008. 172 с.
15. Кнунянц И.Л. Химический энциклопедический словарь, М.: Советская энциклопедия, 1983. – 792 с.
16. Gordienko P. S., Suponina A. P., Yarusova S. B., Bulanova S. B., Krysenko G. F. and Kolzunov V. A. Study of the kinetic aspects of formation of calcium monosilicate in the model system $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. 82(9), Pp. 1505-1509. DOI: 10.1134 / S1070427209090018.
17. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

Grishina Anna Nikolaevna

candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor

Email: GrishinaAN@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

The organization address: 129370, Russia, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26

Korolev Evgenij Valer'evich

doctor of technical sciences, vice rector, professor

Email: prorector_nr@spbgasu.ru

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

The organization address: 190005, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya st., 4

Chemical composition of barium hydrosilicates for cement modification**Abstract**

Problem statement. The aim of this work is to establish the effect of various barium salts, as well as their concentration on the chemical composition of the products formed during their interaction with sodium hydrosilicates. The research objectives are to determine the effect of the concentration of barium salt on the chemical composition of the products of hydrochemical synthesis; to establish the type and concentration of the precipitating salt, which ensures the maximum efficiency of the product intended for the modification of cement systems - barium hydrosilicates, as well as the stable chemical composition of the precipitation products.

Results. It was found that in the IR spectra the product of precipitation of sodium hydrosilicates with barium chloride has more pronounced responses of vibrations of silicate structures than in precipitation with barium nitrate. Additional differential thermal analysis showed high formation of barium carbonate using barium nitrate. It is shown that the use of barium chloride makes it possible to obtain a stable product using precipitation in an amount of 80-90% of the stoichiometric one, which is characterized by a uniform content of the silicate phase and a low content of carbonates. When barium nitrate is used as a precipitant, a significant carbonization of the precipitation product occurs; therefore, a stable modifier composition is observed only when a precipitant is used in an amount of 70% of the stoichiometric one.

Conclusions. Thus, for the synthesis of a modifier based on barium hydrosilicates for mineral binding systems, it is advisable to precipitate hydrosilicates with a saturated solution of barium chloride. In this case, too, entrainment of air during the synthesis should be avoided in order to prevent carbonization of the resulting product.

Keywords: barium hydrosilicates, hydrochemical synthesis, chemical composition, composite cements.

For citation: Grishina A. N., Korolev E. V. Chemical composition of barium hydrosilicates for cement modification // *Izvestija KGASU*. 2021. №4 (58). P. 39-48. DOI:10.52409/20731523_2021_4_39.

References

1. Cement manufacturers reduce CO2 emissions and "green" concrete // Platform "Ustojchivoe razvitie". URL: <https://sdpl.ru/1051-proizvoditeli-cementa-sokraschayut-vybrosy-so2-i-ozelenyayut-beton.html> (reference date 05.08.2021).
2. GS-Expert: Cement market results of 2020 // Industry Portal cement.ru. URL: <https://cement.ru/nashi-novosti-i-stati/item/9731-gs-ekspert-rynok-tsementa-itogi-2020-goda.html> (reference date 07.08.2021).
3. Korolev E.V., Grishina A.N. Influence of nanoscale barium hydrosilicates on composition of cement stone // *Key Engineering Materials*. 2016. V. 683. Pp. 90-94. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.683.90.
4. Loganina V., Zhegera K., Fediuk R., Timokhin R., Liseitsev Y., Zayakhanov M. Amorphous aluminosilicates as a structure-forming additive in cementitious systems // *Journal of materials in civil engineering*. 2020. V. 32. № 5. 06020004. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002995.
5. Zhegera K.V., Pyshkina I.S., Martyashin G.V. Evaluations of efficiency of the use of amorphous aluminosilicates in dry mixes // *Materials Science Forum*. 2018. V. 945 MSF. Pp. 109-114. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.109.
6. Makridin N.I., Vernigorova V.N., Maksimova I.N. About microstructure and synthesis of strength of cement stone with HSC additives // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2003. № 8. Pp. 37-42.
7. Grishina A.N., Eremin A.V. Effect of barium hydrosilicates on the early hydration rate of portland cement // *Inorganic Materials*. 2016. V. 52. № 9. Pp. 973-977. DOI: 10.1134/S0020168516090077.
8. Kochergina M.P., Aleksandrov A.A. Experience in the use of hardeners in the composition of building water glass compositions // *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2019. № 6 (39). Pp. 301-305.
9. Shabanova N.A., Sarkisov P.D. Sol-gel technology. Nanosized silica. M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2015. URL: <https://obuchalka.org/2017070295200/zol-gel-tehnologii-nanodispersnii-kremnezem-shabanova-n-a-sarkisov-p-d-2015.html> (reference date 17.07.2021).
10. Gordienko P.S., Yarusova S.B., Suponina A.P., Krysenko G.F., Bulanova S.B., Kolzunov V.A., Barinov N.N. Hydrochemical synthesis of calcium silicates in the systems $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{SiO}_3 - \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{SiO}_3 - \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} - \text{KOH}$. Composition, structure, properties // *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk*. 2009. № 2 (144). Pp. 30-33.
11. Meledina L.A. New fillers and adhesion promoters for rubbers based on synthetic layered silicates : avtoreferat diss. ... kand. him. nauk : 05.17.06 / Meledina Lyudmila Afanas'evna. Moskva, 2006. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01003306150.pdf (reference date 01.07.2021).
12. Ivaschenko, Y., Kochergina, M., Pavlova, I. Structure formation and properties of thermochemically modified silicate-sodium compositions. 2019. E3S Web of Conferences. 97. 02030. DOI: 10.1051 / e3sconf / 20199702030.
13. Goronovskij I.T., Nazarenko YU.P., Nekryach E.F. A quick reference to chemistry *Naukova dumka*, 1987. 991 p.
14. CHukin G.D. Surface chemistry and structure of dispersed silica. M.: Paladin, OOO «Printa», 2008. 172 p.
15. Knunyanc I.L. Chemical encyclopedic dictionary. M.: Sovetskaya enciklopediya, 1983. – 792 p.

16. Gordienko P. S., Suponina A. P., Yarusova S. B., Bulanova S. B., Krysenko G. F. and Kolzunov V. A. Study of the kinetic aspects of formation of calcium monosilicate in the model system $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. 82(9), Pp. 1505-1509. DOI: 10.1134/S1070427209090018.
17. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savel'ev V.G. Methods of physical and chemical analysis of binders. – M.: Vysshaya shkola, 1981. – 335 p.