

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬСТВА

© М. Ш. Саламанова^{1,2}, М. Р. Нахаев³, Т. С-А. Муртазаева^{1,4}

¹ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

²КНИИ РАН им. Х. И. Ибрагимова, Грозный, Россия

³ЧГУ имени А. А. Кадырова, Грозный, Россия

⁴АН ЧР, Грозный, Россия

При всей значимости гидравлического портландцемента всемирная федерация Central Pollution Control Board относит карбонатную технологию к категории экологически вредных и опасных для окружающей среды. Обоснованием указанных доводов служат многие факторы, такие как крупномасштабная добыча исчерпаемого природного ресурса, высокотемпературная обработка которого приводит к выбросам потенциально опасных для здоровья ультрадисперсной аспирационной и клинкерной пыли, углекислоты, сернистых соединений, тяжелых металлов, диоксинов и др. Снижение доли клинкера в составе вяжущего позволит создавать многокомпонентные цементные системы с использованием минеральных порошков, подвергнутых механо- или механохимической активации, что требует глубокого исследования их природы, условий формирования, обменной емкости и свойств в целом.

Ключевые слова: минеральный порошок, генезис, структура, условия формирования, факторы, механоактивация.

Современный строительный рынок из года в год восполняется широким ассортиментом новой продукции, но согласно мониторингу данных опроса потребителей, востребованным материалом считается портландцемент, без которого невозможна организация и проведение строительства. Но при всей глобальной значимости этого незаменимого гидравлического материала, всемирная федерация Central Pollution Control Board относит карбонатную технологию к категории экологически вредных и опасных для окружающей среды. Обоснованием указанных доводов служат многие факторы, такие как крупномасштабная добыча исчерпаемого природного ресурса, высокотемпературная обработка которого приводит к выбросам потенциально опасных для здоровья ультрадисперсной аспирационной и клинкерной пыли, углекислоты, сернистых соединений, тяжелых металлов, диоксинов и др. [1-4]. Мировое научное сообщество давно стремится найти альтернативу портландцементу, или хотя бы снизить долю клинкера в

составе вяжущего, огромное количество исследований направлено на разработку многокомпонентных цементных систем с использованием минеральных порошков, подвергнутых механо- или механохимической активации. Использование минеральных порошков различного генезиса для получения вяжущих систем щелочного затворения требует глубокого исследования их природы, условий формирования, обменной емкости и свойств в целом.

Известен факт, что горные породы состоят из породообразующих минералов, формирование структуры которых происходило на протяжении миллионов лет в результате сложных физико-химических преобразований. Минералы отличаются строением и свойствами, и в зависимости от условий возникновения и источника энергетического потенциала можно выделить следующие группы, представленные на рисунке 1.

Такие минералы, как силикаты, разновидности кварца, рудные материалы можно отнести к эндогенной категории горных пород.



Рис. 1. Классификация минералов в зависимости от источника энергии

Минералы алюмосиликатного генезиса, такие как каолинит, монтмориллонит, нонтронит, бейделит, гидрослюды, карбонатные кристаллический кальцит, ангидрит, магнезит и др., составляют группу экзогенных горных пород осадочного происхождения. Эндо-экзогенные минералы метаморфической природы представлены метаморфическими породами, такими как хризотил-асбест, парагнейсы, ортогнейсы, тальк, графит и др.

Земная кора нашей планеты состоит из различных минералов, по степени распространения их можно охарактеризовать следующим процентным соотношением, представленным на гистограмме рисунка 2. Самыми распространёнными соединениями в массе земной коры являются силикаты – 77%, входящие в состав 800 минералов, карбонаты, оксиды и гидроксиды в небольшом количестве восполняют свое существование.

Исследования показали, что для силикатных минералов характерны сложный химический состав и изоморфность замещения одних элементов и комплексов элементов другими. В процессе кристаллизации захватывая в свою

структуру такие химические элементы, как Al, Si, Ca, Mg, Fe, O, K, Na и др., формируется кристаллическая решетка за счет химических связей ионного типа. Ключевое звено кристаллической решетки силикатных минералов – кремнекислородный тетраэдр SiO_4^{4-} , с довольно незначительными размерами микросвязей Si – O в диапазоне от 0,15 до 0,17 нм, незначительно увеличивающихся с повышением температуры [6-9].

За счет наличия четырех свободных валентных связей у кремнекислородного тетраэдра проявляются акцепторные свойства, позволяющие притягивать ионы других химических элементов, зацемяля их в структуре с образованием прочной кристаллической решетки. Рассматривая конкретный пример на кристаллической решетке алюмосиликатов, можно отметить ионы Al^{3+} , обладающие способностью замещать ионы кремния Si внутри кремнекислородного тетраэдра. Внутри силикатных минералов существуют различные типы структур кремнекислородных тетраэдров: цепные, ленточные, островные, слоистые и каркасные (рисунок 2).

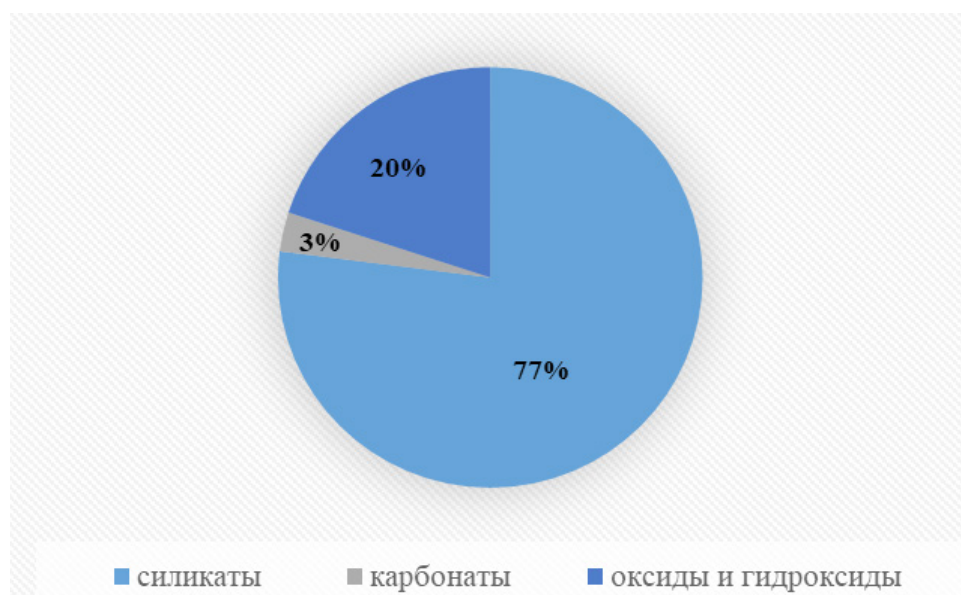


Рис. 2. Степень распространения минералов в земной коре

Рассмотрим конкретные примеры присутствия силикатов с указанными типами структур кремнекислородных тетраэдров. Островной тип соединений кремнекислородных тетраэдров характерен минералу – оливин (Mg, Fe) $_2\text{SiO}_4$, кристаллическая структура которого сформирована взаимодействием катионов щелочных и щелочноземельных металлов и свободных дислокаций с отрицательными валентностями SiO_4^{4-} тетраэдров. Минерал оливин входит в состав многих магматических, как глубинных, так и излившихся горных пород, твердость по шкале Мооса соответствует 6,5-7 и характеризуются достаточно высокой плотностью 3,2-3,5 г/см³.

Островной тип структуры свойственен химическому взаимодействию кремнекислородных тетраэдров через общий кислород, что содействует формированию островной структуры из отдельных кольцевых групп (Si_2O_7)⁶⁻. К этому типу структуры можно отнести такие породообразующие минералы – мелелит и эпидот.

Замкнутые кольцевые цепочки образуются при соединении трех или шести кремнекислородных тетраэдров (Si_3O_9)⁶⁻, (Si_4O_{12})⁸⁻, (Si_6O_{18})¹²⁻.

Цепная структура свойственна для бесконечного объединения тетраэдров (Si_2O_6)⁴⁻, при этом цепочки объединяются через катионы ме-

таллов. Представителями данной структуры являются пироксены $\text{Ca (Mg, Fe, Al) [(Si, Al) }_2\text{O}_6]$, с твердостью по шкале Мооса 5-6, плотностью 3,3-3,6 г/см³.

При сближении и контакте отдельных структурных цепочек происходит формирование сдвоенных кремнекислородных цепочек. При дальнейшем соединении которых через общий кислород приводит к формированию бесконечных ленточных структур со звеном (Si_4O_{11})⁶⁻.

Такая ленточная структура свойственна таким минералам, как актинолит, роговая обманка, хризотил-асбест, с твердостью 5,6-5,7 и плотностью 3,2-3,3 г/см³.

Образование кремнекислородных тетраэдров через общие атомы кислорода, находящиеся в одной плоскости, приводит к появлению листовой структурной цепочки с основным звеном (Si_4O_{10})⁴⁻. Такой тип структуры характерен для минералов осадочного происхождения, таких как тальк, каолинит, мусковит, слюда и др. Такие минералы, как каолинит, гидрослюда и монтмориллонит являются основой глинистых пород, имеют твердость 1-2,6; плотность 2,59-2,61 г/см³.

И наконец, самый сложный вид структуры – трехмерный каркас, когда соединение кремнекислородных тетраэдров происходит объединением через кислороды, так и заме-

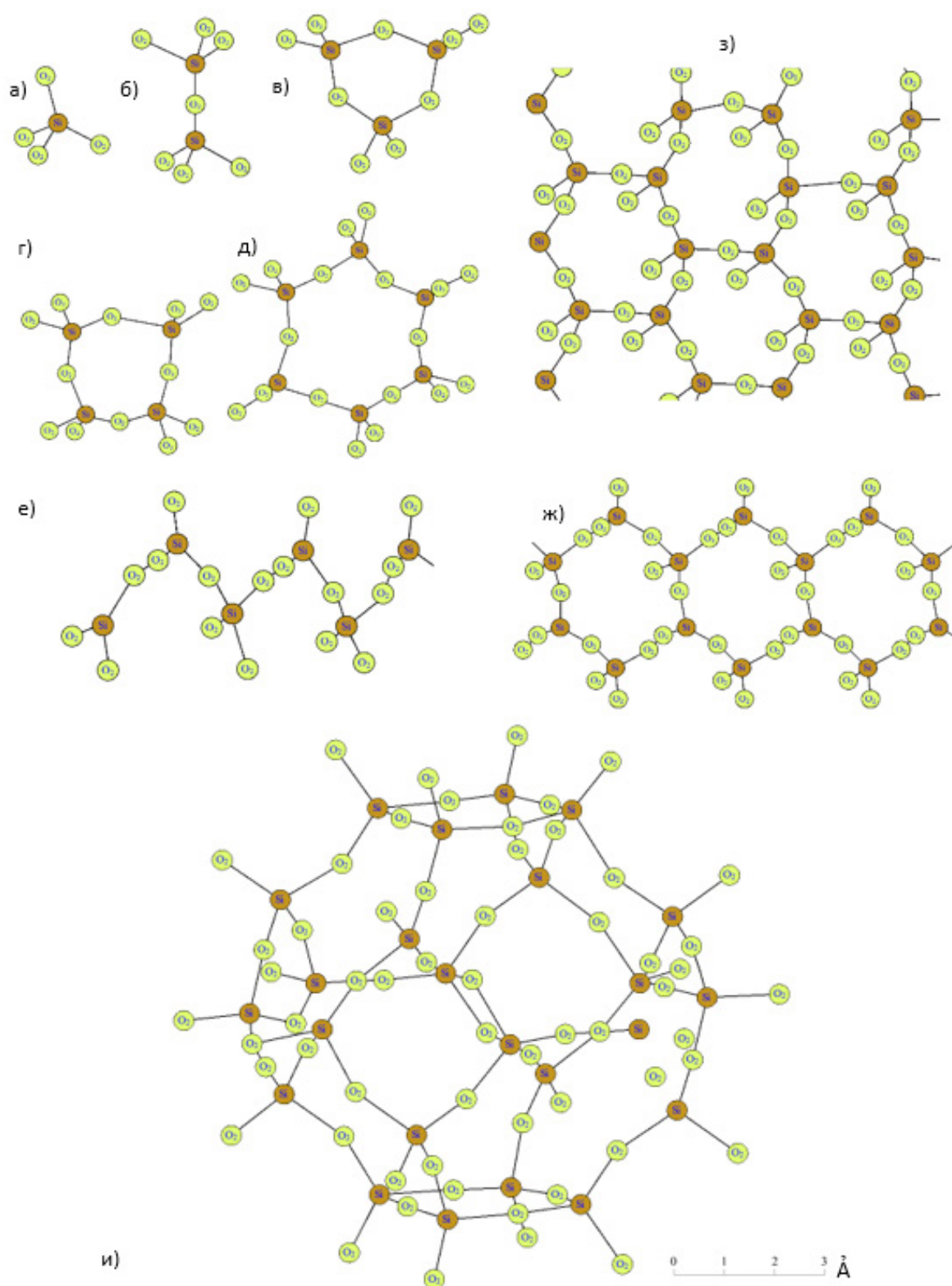


Рис. 2. Типы связей между кремнекислородными тетраэдрами:
а – изолированные тетраэдры; б – сдвоенные тетраэдры; в-д – кольцевые структуры; е – одинарные цепочки; ж – двойные цепочки; з – слоистая структура; и – трехмерный каркас;  – кремний;
 – кислород

щением ионов кремния ионами алюминия. Трехмерный каркас представлен звеном $[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8]^{1-}$ и характерен для полевых шпатов, состоящих из ортоклаза, микроклина, плагиоклаза.

Соли угольной кислоты – кальцит (CaCO_3), магнезит (MgCO_3) и доломит $[\text{Ca}, \text{Mg}(\text{CO}_3)_2]$, являются представителями карбонатной группы минералов и после силикатов занимают по объему распространения следующую позицию 20%. Углекислый кальций существует в виде двух разновидностей арагонита и кальцита, имеющего форму ромбоэдра (рисунок 3 а). Кальцит имеет твердость 3, арагонит 3,5-4, плотность кальцита 2,7 г/см³, арагонита 2,9-3,0 г/см³. Минерал арагонит формировался в ромбической сингонии, и при температуре 400 °С он переходит в кальцит. Эти минералы являются основой большинства горных пород осадочного и метаморфического происхождения.

Магнезит так же как и кальцит имеет форму ромбоэдра в тригональной сингонии, с твердостью 3,5-4,5, плотностью 2,9-3,1 г/см³. Доломит представлен ионами Ca^{+2} , CO_3^{2-} , Mg^{2+} , переплетающимися по очереди вдоль тройной оси (рисунок 3 б). Твердость доломита 3,5-4,0, плотность 2,8-2,9 г/см³. Необходимо отметить, что магнезит и доломит при контакте с

соляной кислотой не закипают, в отличие от кальция. Оксиды кремния, железа, алюминия, гидроксиды этих же элементов являются наиболее часто встречающимися в природе. Это минералы третьего и четвертого класса предложенной классификации.

Кварц SiO_2 очень распространенный породообразующий минерал горных пород, с твердостью 7, плотностью 2,65 г/см³, имеет множество разновидностей: халцедон, горный хрусталь, роговик, аметист, агат и кремнь. Гематит – оксид железа Fe_2O_3 , минерал с твердостью 5-6,5, плотностью 5-5,4 г/см³. Корунд оксид алюминия Al_2O_3 минерал с твердостью 9, плотностью 3,9-4,1 г/см³.

Одним из известных минералов класса гидроксидов можно считать опал и лимонит, они входят в состав многих осадочных пород, в составе их присутствует некоторое количество воды от 4 до 8%, твердость 5,4-6,4, плотность 1,8-2,4 г/см³.

Химическое строение породообразующих минералов, составляющих природный ресурс, играет важную роль в процессе синтеза материалов, интенсивность протекания физико-химических процессов и свойства которых определяются именно минеральным составом используемого сырья, диктуя технологию производства. Поверхность материала также вно-

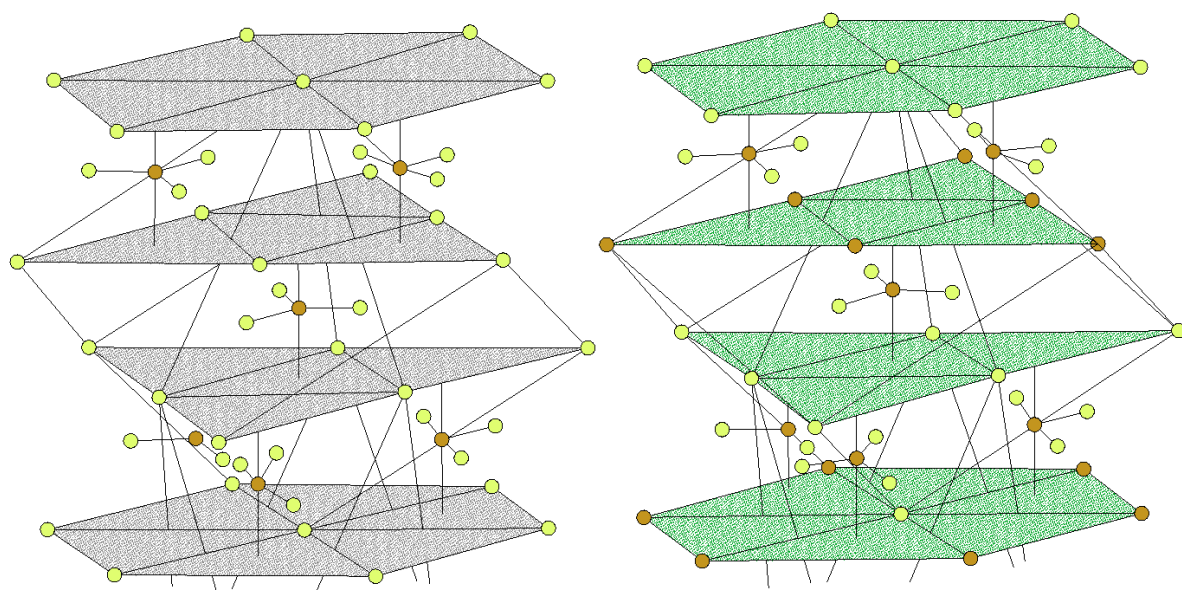


Рис. 3. Схема кристаллических решеток кальцита (а) и доломита (б)

сит свою первостепенную лепту в формирование структуры строительного композита. Еще в начале двадцатого века Габер доказал, что на поверхности твердого тела присутствуют обменные центры кристаллической активности, обладающие «остаточной валентностью», которые являются адсорбентами атомов и молекул другого вещества.

Классифицировать минеральные порошки можно по многим параметрам: в зависимости от энергетического потенциала поверхности порошков, по концентрации активных поверхностных центров и адсорбционной способности. Тонкодисперсные минеральные порошки можно разделить на следующие группы:

– полученные в результате тонкого измельчения горных пород с преобладанием кислотных оксидов и наличием высокого отрицательного потенциала, что повлечет к образованию на поверхности добавок большого количества центров адсорбции, представленных ионами O^{-2} (кварц, кварцит, гранит, габбро и др.);

– полученные в результате тонкого измельчения магматических пород средней кислотности, отрицательный потенциал которых обусловлен наличием центров адсорбции типа O^{-2} , и щелочных катионов металлов Na^+ , K^+ (плагиоклаз, ортоклаз, микроклин и др.);

– полученные в результате тонкого измельчения минералов и магматических пород повышенной основности, потенциал которых менее отрицательный благодаря присутствию на поверхности добавок существенного количества центров адсорбции типа O^{-2} и катионов металлов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} (порфир, анортит, андезит, базальт и др.);

– полученные в результате тонкого измельчения осадочных пород высокой основности, которые обладают высоким положительно заряженным потенциалом, обусловленным значительным содержанием центров адсорбции из щелочноземельных катионов Ba^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} (арагонит, известняк, магнезит, доломит и др.);

– полученные из метаморфических минералов с преобладанием нейтральной поверхности (графит, гнейсы, тальк и др.).

Таким образом, анализируя теоретические представления о генезисе твердых материалов, можно сделать следующее заключение, что твердое массивное тело можно считать прочной основой, образованной в результате взаимодействия на микроуровне соответствующих функциональных групп на поверхности. А для раскрытия и активизации поверхности твердого материала необходимо разрушить либо разрушить химические связи, раскрыть дефекты,

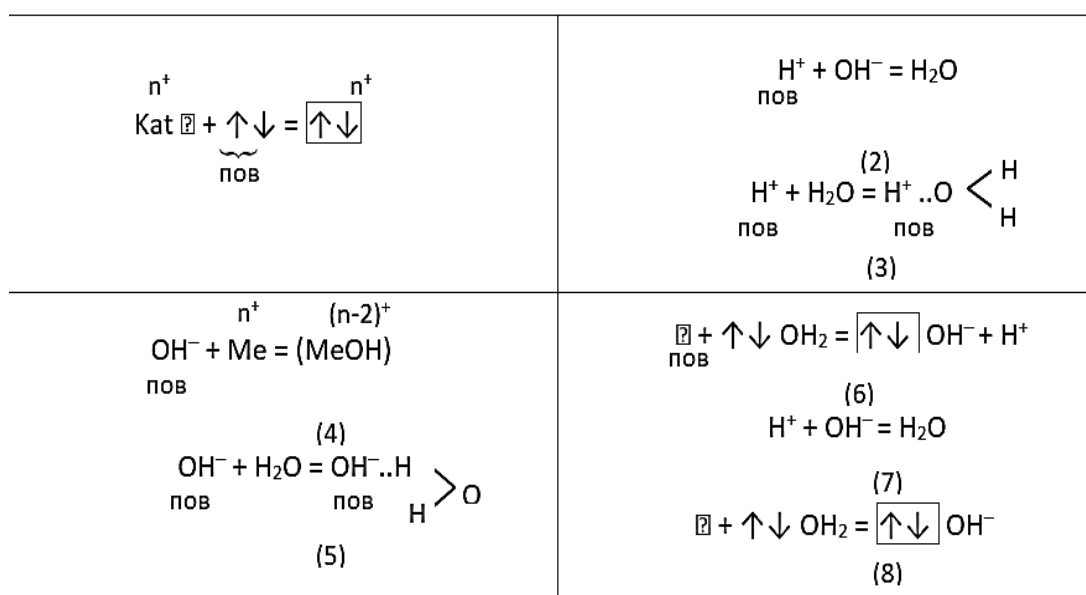


Рис. 4. Вероятностные модели реагирования активных центров кристаллизации

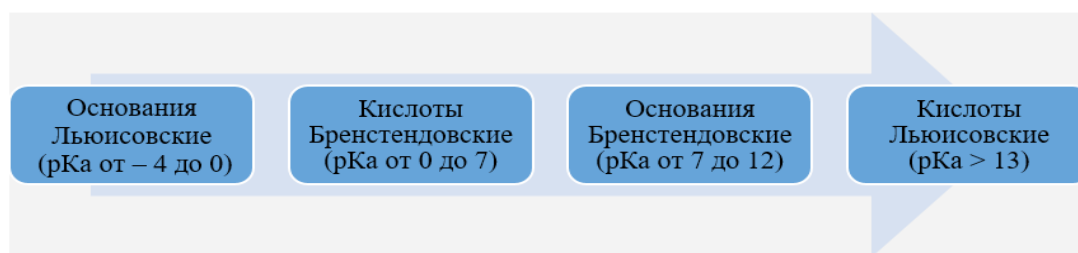


Рис. 5. Диапазоны кислотности среды

микротрещины и дислокации, обнажая тем самым активные обменные центры на ее поверхности [14, 16].

Многочисленными исследованиями установлено [4, 18-20], что возможно контролировать процессы преобразований, физико-химических превращений и формирования структуры и свойств систем с использованием минеральных тонкодисперсных порошков и эффективных высокомолекулярных добавок за счет варьирования степенью наполнения и соотношения основных и кислотных обменных центров кристаллизации на поверхности твердого материала (рисунок 4).

Предложенный донорно-акцепторный механизм [19], происходящий на твердой поверхности тела с возможным распределением адсорбционных центров, оценивают по показателю кислотности pK_a , и он позволяет выде-

лить следующие диапазоны среды (рисунок 5):

Данный механизм позволит разработать вероятностные модели реагирования активных центров кристаллизации между собой, наблюдающиеся в цементной системе. Установлено, что твердые тела обладают определенной зависимостью химического и минералогического состава с фактическим электрохимическим потенциалом минерального порошка [9, 18].

Таким образом, использование минеральных порошков в тонкодисперсном состоянии определенного химико-минерального состава, активация этих добавок ПАВ щелочными растворами, тепловым воздействием позволит увеличить количество обменных центров кристаллизации на поверхности твердого тела, что в комплексе позволит управлять процессом структурообразования, набором свойств цементного камня и композита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lopez F.J. Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation / F.J. Lopez, S. Sugita, M. Tagaya, T. Kobayashi // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. 2014. № 2. P. 16-27.
2. Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С. 73-77.
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin – Based Geopolymer // Materials 2016. Vol. 9. P. 767.
4. Krivenko P. Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement / P. Krivenko, O. Petropavlovskii, M. Mokhort, V. Puchkar // Proceed. 3rd International Symposium “Non-traditional cement&concrete” (Brno). 2008. P. 400-409.
5. Рахимова Н.Р. Прочность камня композиционных шлакощелочных вяжущих с цеолитсодержащими добавками / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов // Известия КазГАСУ. 2008. № 2 (10). С. 131-134.
6. Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Муртазаева Р. С.-А. Структура и свойства вяжущих щелочной активации с использованием цементной пыли // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. № 2 (Т. 46). С. 148-158.

7. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т. 46). С. 65-70.
8. Fadhil Nuruddin M. Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete / M. Fadhil Nuruddin, S. Demie, M. Fareed Ahmed, Nasir Shafiq. // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. № 75. P. 908-914.
9. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintshev M.Sh., Bisultanov R. G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging // 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.
10. Bataev D. K-S., Murtazayev S-A. Yu., 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.
11. Рахимов М.М., Хабибуллина Н.Р., Рахимов Р.З. Механизм отверждения боратных солевых растворов шлакощелочными вяжущими // Цемент и его применение. 2016. №3. С. 96-99.
12. Ушеров-Маршак А.В., Перишина Л.А., Циук М. Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками. Ч. 1 // Цемент. 2002. №6. С. 6-9.
13. Dombrowski K., Buchwald A. Weil The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers // Journal of Materials Science. Vol. 42. №9. 2007. P. 3033-3043.
14. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // Alkali Activated Materials. 2008. P. 523-525.
15. Khater H.M. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // Advances in Nano Research. 2015. Vol. 3. №4. P. 225-242.
16. Khater H.M., El Nagar A.M., Ezzat M. Optimization of Alkali Activated Grog/Ceramic Wastes Geopolymer Bricks // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. Vol. 5. Issue 1. P. 37-46.
17. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // Int.J. Chem. Sci. 2016. №14 (S1). P. 115-126.
18. Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р., Исмаилова З.Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации // Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2020. Т. 3. №1. С. 21-29.
19. Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete // MATEC Web of Conferences 27. Сер. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFoCE 2018" 2018. С. 04018.

RESEARCH OF THE MINERAL NATURAL RESOURCE CONSTRUCTION

© M. Sh. Salamanova^{1,2}, M. R. Nakhaev³, T. S-A. Murtazaeva^{1,4}

¹GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

³CSU named after A. A. Kadyrov, Grozny, Russia

AS of the Chechen Republic, Grozny, Russia

Despite the importance of hydraulic Portland cement, the global federation Central Pollution Control Board classifies carbonate technology as environmentally harmful and hazardous to the environment. These arguments are substantiated by many factors, such as large-scale mining of an exhaustible natural resource, the high-temperature processing of which leads to emissions of potentially hazardous ultrafine aspiration and clinker dust, carbon dioxide, sulfur compounds, heavy metals, dioxins, etc. Reducing the proportion of clinker in the binder composition will make it possible to create multicomponent cement systems using mineral powders subjected to mechanical or mechanochemical activation, which requires a deep study of their nature, formation conditions, exchange capacity and properties in general.

Keywords: mineral powder, genesis, structure, formation conditions, factors, mechanical activation

REFERENCES

1. Lopez, F.J. Sugita, S., Tagaya, M. and Kobayashi, T. (2014) 'Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation'. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. №2. P. 16-27.
2. Murtazaev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Nakhaev, M. R. (2020) 'Vozmozhnye puti al'ternativnogo resheniya problem v tsementnoi industrii'. *Stroitel'nye materialy*. [Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry. Construction materials]. №1-2. Pp. 73-77.
3. Chen, L., Wang, Z., Wang, Y. and Feng, J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin – Based Geopolymer. *Materials* 2016. Vol. 9. P. 767.
4. Krivenko P., Petropavlovskii, O., Mokhort, M. and Puchkar, V. (2008) 'Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement'. *Proceed. 3rd International Symposium "Non-traditional cement&concrete"* (Brno). P. 400-409.
5. Rakhimova, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2008) 'Prochnost' kamnya kompozitsionnykh shlakoshchelochnykh vyazhushchikh s tseolitsoderzhashchimi dobavkami'. *IzvestiyaKazGASU*. [Durability of stone of composite slag-alkaline binders with zeolite-containing additives], №2 (10), pp. 131-134.
6. Salamanova, M. Sh., Aliev, S. A. and Murtazaeva, R. S-A. (2019) 'Struktura i svoistva vyazhushchikh shchelochnoi aktivatsii s ispol'zovaniem tsementnoi pyli'. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Structure and properties of alkaline activation binders using cement dust]. №2 (V. 46), pp. 148-158.
7. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoi prirody'. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. [Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. Privolzhsky scientific journal]. №2 (V. 46), pp. 65-70.
8. Fadhil, Nuruddin, M., Demie, S., Fareed, M. and Nasir, Shafiq, Ahmed. (2011) Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure

- Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete. World Academy of Science, Engineering and Technology. № 75, pp. 908-914.
9. Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintsayev, M. Sh, and Bisultanov, R. G. (2019) 'Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging' *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, pp. 500-503.
 10. Bataev, D. K-S., Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh. and 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, pp. 457-460.
 11. Rakhimov, M. M., Khabibullina, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2016) 'Mekhanizm otverzhdeniya boratnykh solevykh rastvorov shlakoshchelochnymi vyazhushchimi' *Tsement i ego primeneniye*. [The mechanism of curing of borate salt solutions with slag-alkaline binders. Cement and its application]. № 3, pp. 96-99.
 12. Usharov-Marshak, A. V., Pershina, L. A. and Tsiak, M. (2002) 'Sovmestimost' tsementov s khimicheskimi i mineral'nymi dobavkami'. Ch. 1. *Tsement*. [Compatibility of cements with chemical and mineral additives. Part 1. Cement], № 6, pp. 6-9.
 13. Dombrowski, K., Buchwald, A. and Weil (2007) 'The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers'. *Journal of Materials Science*. Vol. 42, № 9, pp. 3033-3043.
 14. Pawlasova, S. and Skvara, F. (2008) High-Temperature Properties of Geopolymer Materials. Alkali Activated Materials, pp. 523-525.
 15. Khater, H. M. (2015) Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT. *Advances in Nano Research*. Vol. 3, № 4, p. 225-242.
 16. Khater, H. M., El Nagar, A. M. and Ezzat, M. (2016) 'Optimization of Alkali Activated Grog/ Ceramic Wastes Geopolymer Bricks' *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 5, Issue 1, pp. 37-46.
 17. Nagajothi, S. and Elavenil, S. (2016) trength assessment of geopolymer concrete using M-sand *Int.J. Chem. Sci.* № 14 (S1), pp. 115-126.
 18. Salamanova, M. Sh., Nakhaev, M. R. and Ismailova, Z. Kh. (2020) 'Zakonomernosti protekaniya protsessov formirovaniya struktury i prochnosti besklinkernogo vyazhushchego shchelochnoi aktivatsii' *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal «Stroitel'nye materialy i izdeliya»* [Patterns of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation. International Scientific Research Journal "Building Materials and Products"]. V. 3, № 1, pp. 21-29.
 19. Nesvetaev, G., Koryanova, Y. and Zhilnikova, T. (2018) 'On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete' *In proceedings: MATEC Web of Conferences 27. Sep. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018"*, p. 04018.