

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-126-133

¹Кожухова Н.И., ¹Жерновская И.В., ¹Череватова А.В., ²Соболев К.Г.
¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
²Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин, США
*E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru

РОЛЬ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА В СОСТАВЕ ПЕРЛИТОВОГО ГЕОПОЛИМЕРА НА ЕГО ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ

Аннотация. Как правило, компонентный состав строительных материалов вносит значительный вклад в формирование их конечных эксплуатационных свойств. Кроме того, в новых типах вяжущих систем, не смотря на их слабую изученность, также обнаружено это влияние отдельных компонентов на особенности структуры и свойства конечного композита. В рамках статьи эта взаимосвязь изучена на примере перлитовых геополимерных вяжущих.

В данном исследовании было выявлено, что использование мельницы с металлической футеровкой приводит к образованию железосодержащего намола, который становится неотъемлемой частью измельчаемого сырья (перлита).

Установлено, что частицы образующегося железосодержащего компонента являются наноразмерными.

Для выявления характера влияния железосодержащего компонента на фазовые изменения перлитового геополимера в качестве аналитической базы использовалась рентгеновская спектроскопия.

Микроструктурные особенности вяжущего были изучены с помощью РЭМ-микроскопии. Фазово-минеральный состав затвердевшего геополимерного камня, полученный с помощью РФА-анализа, показал, что в процессе твердения в геополимерной системе образуется наноразмерный гидроксид железа или берналит $Fe(OH)_3(H_2O)_{0,25}$, объем элементарной ячейки которого на атом Fe в 4,5 раза больше, чем у металлического железа, что инициирует разрушение структуры. Это подтверждается низкими результатами прочности на сжатие перлитового геополимерного камня.

Ключевые слова: железосодержащий компонент, металлический намол, геополимерное вяжущее, рыхлая структура, формула Шеррера

Введение. При производстве строительных композитов используется широкий спектр сырьевых компонентов. При этом значительная их доля перед применением в производственном процессе подвергается предварительной доработке в форме домола до требуемой дисперсности [1–7], поскольку дисперсность является одним из ключевых индикаторов, определяющих реакцию активностью сырья, отвечающую за качество и эксплуатационные характеристики конечного продукта.

Механоактивация является одним из широко применяемых методов повышения реакционной активности сырьевых компонентов природного и техногенного происхождения, а также вяжущих систем. В работе [8] изучено влияние механоактивации цемента на изменение его гранулометрических характеристик и установлено, что использование механоактивированного цемента даже в малых количествах в общем объеме вяжущего (до 10 %) приводит к повышению прочностных показателей.

Как правило, при проведении научных исследований для механоактивации используются помольные агрегаты различного типа и футеровки, а также различные среды (сухой мокрый помол) [9]. Зачастую такие исследования направ-

лены на изучение микроструктурных и морфологических изменений измельчаемых материалов в зависимости от длительности механоактивационного процесса.

Однако, в производственных масштабах активно используются металлические мельницы. Как правило, в процессе интенсивного помола в таких мельницах образуется металлический (Me) намол от футеровки и мелющих тел [9–11].

Ранее бы изучено влияние Me-намола в вяжущих системах на цементной основе [12].

В свою очередь, технология получения геополимерных вяжущих систем при использовании природных и техногенных сырьевых компонентов предусматривает применение тонкодисперсного сырья и, поэтому, зачастую, включает механоактивацию в процессе помола [13].

Ранее [14] было установлено, что катионы железа, присутствующие в составе геополимерного вяжущего, выступают в качестве инертного компонента и не участвуют в процессах геополимеризации. Другими словами, чем выше концентрация катионов железа в щелочалюмосиликатной системе, тем ниже реакционная активность вяжущего в целом, которая в значительной степени отражается на прочностных характеристиках геополимерного камня [15].

Недавними исследованиями ведущих австралийских ученых в области вяжущих щелочной активации [16] была выдвинута гипотеза о том, что валентность и координационное число катионов железа могут оказывать влияние на их структурообразующую роль в вяжущей системе. Так, катионы Fe^{2+} и Fe^{3+} с координационным числом 5 в щелочеактивированной алюмосиликатной системе функционируют подобно катионам щелочных металлов в качестве активирующих компонентов.

В то же время, катионы Fe^{3+} с координационным числом 4 выступают в качестве структурообразующего компонента аналогично катионами Al^{3+} .

Однако, следует отметить, что в приведенных выше данных речь идет о железосодержащем (Fe) компоненте в оксидной форме. В рамках этого исследования намол, образующийся в процессе диспергации перлита, представляет собой наноразмерное металлическое железо, влияние которого в геополимерных системах на сегодняшний день практически не изучено.

Исследования направлены на изучение возможного эффекта наноразмерного металлического железа, образующегося в качестве намолла на особенности твердения геополимерных систем.

Материалы и методы

Материалы. Для оценки влияния Fe-компонента (металлического железа) на особенности структурообразования в геополимерной системе, в рамках данного исследования был использован один из представителей природных алюмосиликатов кислого состава – перлит (Мухор-Талинское месторождение, РФ); два вида щелочных компонентов: NaOH и KOH.

Fe-компонент был введен в геополимерную систему искусственно в виде металлического железа путем помолла перлита в планетарной мельнице МП/0,5 с металлической футеровкой.

С целью количественной оценки и сравнения, параллельно с помолом в планетарной мельнице, часть перлита была измельчена в валковой шаровой мельнице с уралитовой футеровкой, включающей металлический намол.

Методы. Рентгенофазовый (XRD) и рентгено-флуоресцентный (XRF) анализы были использованы для изучения химического и фазово-минерального составов перлита и геополимерного вяжущего.

Образцы для XRF и XRD-анализов были подготовлены с использованием метода взаимной нагрузки. Полученные таблетки были проанализированы с помощью спектрометра WorkStation ARL 9900 (Thermo Scientific, USA), с использованием излучения Co-анода.

Качественный XRD анализ был осуществлен с использованием базы данных PDF-2. Для осуществления полнопрофильного количественного XRD анализа было использовано программное обеспечение DDM v.1.95e в алгоритме DDM (Derivative Difference Minimization). Основное преимущество использования алгоритма DDM для осуществления полнопрофильного количественного XRD-анализа состоит в том, что нет необходимости пересчета параметров фона рентгеновского дифракционного образца. Это существенно упрощает процедуру анализа, поскольку фон XRD-образцов исследуемых компонентов имеет сложную структуру, и его аппроксимация является источником дополнительных погрешностей.

Оценка размеров кристаллитов Fe-компонента в составе перлита, а также в составе геополимерного вяжущего осуществлялась расчетным путем с использованием классической формулы Шеррера (1):

$$d = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}, \quad (1)$$

где K – это постоянная Шеррера (фактор формы, безразмерная величина); λ – длина волны рентгеновского излучения; β – полуширина рефлекса на полувысоте; θ – угол дифракции (угол Брегга).

Объемы элементарных ячеек фазовых компонентов перлита и геополимерного вяжущего на его основе были взяты из международной базы данных ICSD (Inorganic Crystal Structure Database).

Морфология поверхности образцов геополимерного вяжущего была изучена с помощью растровой электронной микроскопии РЭМ. Поверхность образцов была покрыта слоем углерода и исследована с помощью электронного сканирующего микроскопа Mira 3 FesSem (Tescan, Чехия).

Физико-механические характеристики геополимерного вяжущего определялись в соответствии со стандартом ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Экспериментальная часть. Для возможности сравнения результатов использовался перлит, измельченный в обоих мелющих агрегатах до одинаковой удельной поверхности – 450 м²/кг. Результаты химического анализа (табл. 1) показали, что измельчение в планетарной мельнице с металлической футеровкой приводит к значительному увеличению оксида FeO (до 69 % при помолле в течение 2 часов). Помол в шаровой

мельнице с уралитовой футеровкой значительных изменений в химический состав перлита не вносит.

Таблица 1

Характер изменения химического состава перлита, измельченного в различных мелющих агрегатах

Содержание оксидов, % масс.								Примечание
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Fe/Al соотношение	
71,97	16,34	4,43	4,63	1,07	0,872	0,74	0,61/8,45	–
Планетарная мельница								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Fe	Примечание
71,88	16,3	4,09	4,1	0,73	1,47	0,37	1,03	Увеличение Fe-катионов на 69 %
Шаровая мельница								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Al	Примечание
72	16,42	4,08	4,38	0,93	0,93	0,49	8,61	Увеличение Al-катионов на 2 %

При подготовке составов геополимерного вяжущего содержание воды подбиралось в соответствии с обеспечением расплыва конуса в диапазоне 120–140 мм. После смешения водного раствора щелочных компонентов и перлита, геополимерные пасты были заформованы в формы-балочки 40×40×160 мм, уплотнены на вибро-

столе и подвержены термической сушке при температуре 70 °С в течение 24 часов с дальнейшей расформовкой и выдержкой при температуре 22±3 °С и относительной влажности 55±5 % до момента испытания. Тест на прочность для геополимерных паст осуществлялся в возрасте 28 суток твердения (табл. 2).

Таблица 2

Влияние Fe-компонента на характеристики геополимерного вяжущего

Вид щелочного активатора	Параметр			
	Предел прочности при сжатии, МПа		Средняя плотность, кг/м ³	
	без намола Fe-компонента	с намолом Fe-компонента	без намола Fe-компонента	с намолом Fe-компонента
NaOH	36,9	31,8	1743	1726
KOH	36,1	30,4	1735	1712

Результаты XRD-анализа (рис. 2) подтверждают образование металлического намола после помола в планетарной мельнице, в то время

как рентгенограмма перлита, молотого в шаровой мельнице, не продемонстрировала появления пика, отвечающего за железосодержащие фазы, (рис. 3).



Рис. 1. Визуальная оценка образцов геополимерных вяжущих с использованием NaOH-активатора: а – без намола Fe-компонента; б – с намолом Fe-компонента

Наноразмерность образующегося Fe-компонента, содержащегося в механоактивированном перлите, подтверждается его высокой реакционной активностью, что в процессе щелочной активации позволяет ему активно вступать

во взаимодействие с молекулами воды или гидроксид ионом OH^- с образованием гидратных фаз типа берналита $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_{0.25}$.

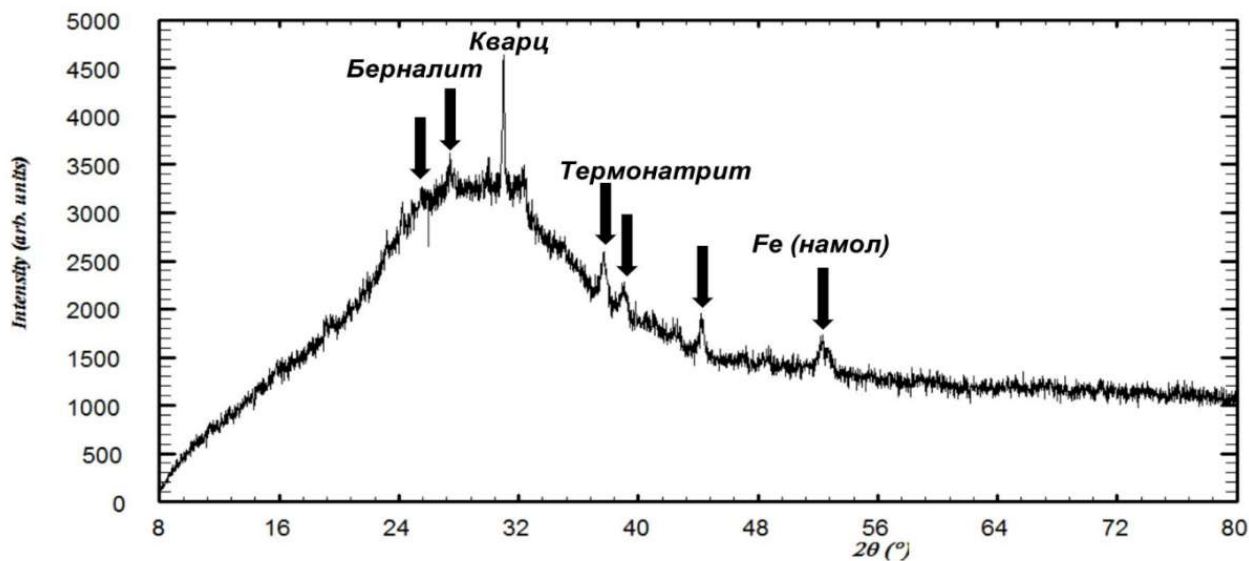


Рис. 2. Рентгенограмма геополимерного вяжущего на основе перлита, молотого в планетарной мельнице в течение 24 часов

Согласно полученным данным, присутствие наноразмерного металлического железа вызывает деструктивные процессы при твердении геополимерного вяжущего (рис. 1) и способствует

снижению прочностных характеристик на 13–16 %, а также снижению плотности (на 1–1,3 %).

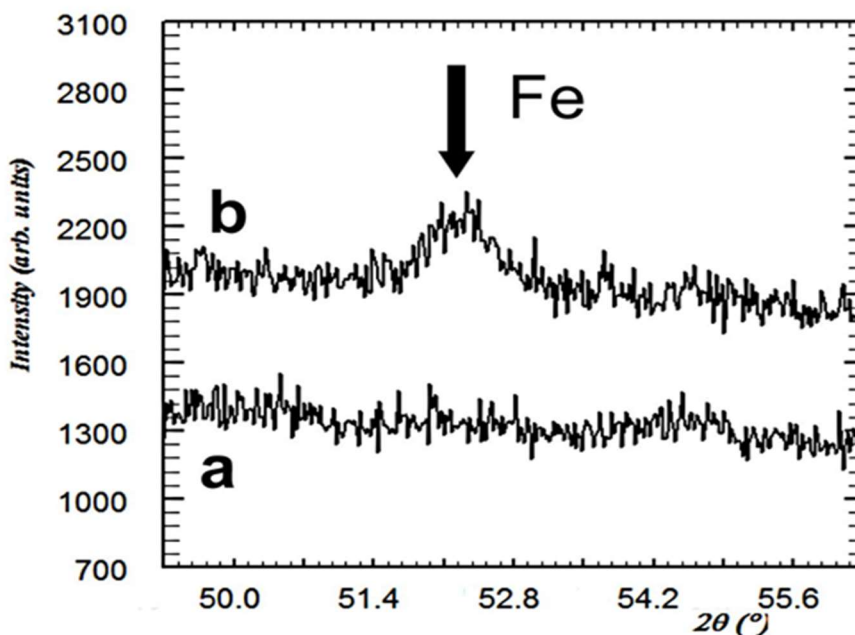
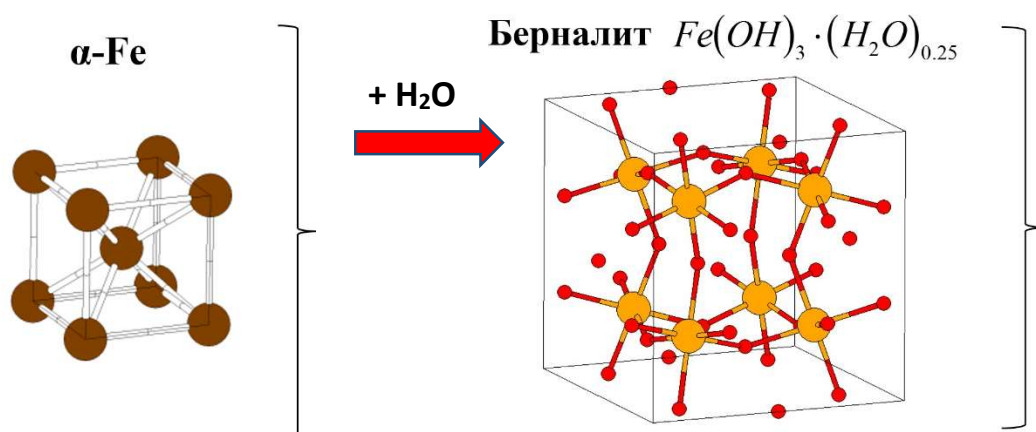


Рис. 3. Сравнительный анализ рентгенограмм перлита, молотого в разных помольных агрегатах а) шаровой мельнице; б) планетарной мельнице

Это явление может быть связано с тем, что объемы ячеек данных гидратных образований от 3 до 4,5 раз (в пересчете на 1 атом Fe) превышают

объем исходного наноразмерного металлического железа (рис. 4).

на 1 атом Fe приходится объем $11,8 \text{ \AA}^3$ на 1 атом Fe приходится объем $53,9 \text{ \AA}^3$ Рис. 4. Трансформация структуры металлического наномола после взаимодействия с H_2O

Таким образом, увеличение объема кристаллической решетки гидрооксида железа приводит к нарушению целостности формирующегося щелочеолюмосиликатного каркаса и разрушению структуры геополимера в целом, вызывая снижение прочностных и иных эксплуатационных характеристик геополимерного камня.

Вывод. В рамках исследования установлено негативное влияние наноразмерного металлического железа в составе перлитового геополимерного вяжущего, образующегося в качестве наномола в процессе диспергации перлита в мелушем агрегате с металлической футеровкой на формирование целостности структуры и, как следствие, показателей прочности в перлитовой геополимерной системе за счет образования гидратных фаз типа берналит $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_{0,25}$. Объем ячейки этой фазы от 3 до 4,5 раз превышает объем исходной ячейки наноразмерного металлического железа, за счет чего происходит нарушение целостности формирующегося щелочеолюмосиликатного каркаса, что приводит к разрушению структуры геополимерного вяжущего в целом.

Источник финансирования: Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Strokov V.V., Kalashnikova V.A. Influence of mechanical and chemoactivation processes on operational characteristics of geopolymer binder // Research Journal of Applied Sciences. 2015. Vol. 10. Issue. 10. Pp. 620–623.

2. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Trunov P.V. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 9. Issue. 11. Pp. 745–748.

3. Sobolev K., Kozhukhova M., Sideris K., Menéndez E. Santhanam M. Alternative supplementary cementitious materials // RILEM State-of-the-Art Reports. 2018. Vol. 25. Pp. 233–282.

4. Попов А.Л., Нелюбова В.В., Строкова В.В. Морфология диспергированного кремнеземистого сырья – компонента композиционных вяжущих // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы строительной науки». 2017. С. 188–192.

5. Федосеева В.И., Миронова А.А. Влияние активации бентонита на его адсорбционные свойства // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. № 4 (60). С. 59–65.

6. Нелюбова В.В., Попов А.Л. Фазовые трансформации алюмосиликатных систем при их механоактивации // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2017. № 8. С. 96–98.

7. Фомина Е.В. Эффективность использования отходов металлургии при производстве материалов строительного назначения // Материалы 4-й международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию строительного факультета и 85-летию БГИТУ «Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах». 2015. С. 170–173.

8. Roukaya Mejdoub, Halim Hammi, Mohamed Khitouni, Joan Josep Suñol, Adel M'nif. The

effect of prolonged mechanical activation duration on the reactivity of Portland cement: Effect of particle size and crystallinity changes // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 152. Pp. 1041–1050.

9. Jiajie Li, Michael Hitch. Structural and chemical changes in mine waste mechanically-activated in various milling environments // Powder Technology. 2017. Vol. 308. Pp. 13–19.

10. Ermolovich E.A., Ermolovich O.V. Effects of mechanical activation on the structural changes and microstructural characteristics of the components of ferruginous quartzite beneficiation tailings // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Issue 6. Pp. 1043–1049.

11. Akshata G., Patil S. Anandhan. Influence of planetary ball milling parameters on the mechanochemical activation of fly ash // Powder Technology. 2015 Vol. 281. Pp. 151–158.

12. Sobolev K., Lin Z., Cao Y., Sun H., Flores-Vivian I., Rushing T., Cummins T., Weiss W.J. The influence of mechanical activation by vibro-milling on the early-age hydration and strength development

of cement // Cement and Concrete Composites. 2016. Vol. 71. Pp. 53–62.

13. Fomina E.V., Strokova V.V., Kozhukhova N.I., Fomin A.E. Effect of Mechano Activation on Size Parameter of Aluminosilicate Rocks // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9. № 22. doi: 10.17485/ijst/2016/v9i22/95545.

14. Pawlasová S., Skavara F. High-temperature properties of geopolymer materials. 3rd Conference «In Alkali activated materials-research, production and utilization». Prague. Czech Republic. 2007. Pp. 523–525.

15. Kozhukhova N.I., Zhernovskiy I.V., Lebedev M.S., Sobolev K. Influence of Fe component from milling yield on characteristics of perlite based geopolymers // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 560. № 012148.

16. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture // Cement and Concrete Research. 2016. Vol. 85. Pp. 163–173.

Информация об авторах

Кожухова Наталья Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Жерновская Ирина Васильевна, старший преподаватель кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: ziv_1111@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Череватова Алла Васильевна, доктор технических наук, профессор кафедры Технология стекла и керамики. E-mail: cherry_611@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Соболев Константин Геннадьевич, кандидат технических наук, профессор. Школа инжиниринга и прикладных наук. e-mail: k.sobolev@gmail.com. Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин. P.O. Box 413, Милуоки, WI 53201, США

Поступила в январе 2020 г.

© Кожухова Н.И., Жерновская И.В., Череватова А.В., Соболев К.Г., 2020

^{1,*}Kozhukhova N.I., ¹Zhernovskaya I.V., ¹Cherevatova A.V., ²Sobolev K.G.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

²University of Wisconsin-Milwaukee

E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru

ROLE OF FE-BEARING COMPONENT IN PERLITE-BASED GEOPOLYMER WHEN STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS

Abstract. Normally, the component composition of building materials makes a significant contribution when formation of final performance properties of them. Moreover, new types of binding systems, in spite of their poor knowledge, this effect on the structural characteristics of final composites also takes place. In this work, perlite-based geopolymer binder as an example was studied.

In framework of the study, it was found that the application of grinding mill with a metal lining leads to the formation of Fe- milling yield, which is included into crushed raw materials (perlite) composition.

It was established that the particles of the resulting Fe- component are nanoscaled.

The X-ray phase and chemical analyses were used to determine the effect of the Fe- component on the properties of perlite-based geopolymer.

Microstructure of the hardened geopolymer paste was studied using SEM microscopy. Phase and mineral composition of geopolymer paste obtained by XRD-analysis showed, when the hardening process, nanosized iron hydroxide or bernalite $Fe(OH)_3(H_2O)_{0.25}$ is formed in the geopolymer system, that is 5 times more than metallic iron. This initiates the structure destruction and confirmed by the low values compressive strength of the geopolymer stone.

Keywords: Fe-bearing component, metallic milling yield, geopolymer binder, friable structure, the Scherrer formula

REFERENCES

1. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Strokova V.V., Kalashnikova V.A. Influence of mechanical and chemoactivation processes on operational characteristics of geopolymer binder. Research Journal of Applied Sciences. 2015. Vol. 10. Issue 10. Pp. 620–623.
2. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Trunov P.V. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement. Research Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 9. Issue. 11. Pp.745–748
3. Sobolev K., Kozhukhova M., Sideris K., Menéndez E. Santhanam M. Alternative supplementary cementitious materials. RILEM State-of-the-Art Reports. 2018. Vol. 25. Pp. 233–282.
4. Popov A.L., Nelubova V.V., Strokova V.V. Morphology of dispersed SiO_2 -bearing raw materials as a component in composite binders [Morfologia dispergirovannogo kremnezemistogo syiria – komponenta kompozitsionnyih vyazhushchih]. Sbornik nauchnyih trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennyye problemyi stroitelnoy nauki». 2017. Pp. 188–192.
5. Fedoseeva V.I., Mironova A.A. Bentonite properties before and after mechanoactivation according to the results of adsorption studies [Vliyanie aktivatsii bentonita na ego adsorbtsionnye svoistva]. Vestnik of North-Eastern Federal University. 2017. No 4 (60). Pp. 59–65. (rus)
6. Nelubova V.V., Popov A.L. Phase transformations of aluminosilicate systems during their mechanoactivation [Fazovyye transformatsii aluminosilikatnyih system pri ih mehanoaktivatsii]. Energy saving technologies in regional construction complex. 2017. No. 8. Pp. 96–98. (rus)
7. Fomina E.V. Utilization efficiency of metallurgical waste when production of building materials [Effektivnost ispolzovania othodov metallurgii pri proizvodstve materialov stroitelnoy naznacheniya]. Materialy 4-i mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy 55-letiyu stroitelnoy fakulteta i 85-letiyu BGITU «Problemyi innovatsionnogo biosferno-sovmestimogo sotsialno-sovmestimogo razvitiya v stroitelnom, zhilishno-kommunalnom i dorozhnom kompleksah». Bryansky gosudarstvenny inzhenerno-tehnologicheskii universitet. 2015. Pp. 170–173. (rus)
8. Roukaya Mejdoub, Halim Hammi, Mohamed Khitouni, Joan Josep Suñol, Adel M'nif The effect of prolonged mechanical activation duration on the reactivity of Portland cement: Effect of particle size and crystallinity changes. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 152. Pp. 1041–1050.
9. Jiajie Li, Michael Hitch. Structural and chemical changes in mine waste mechanically-activated in various milling environments. Powder Technology. 2017. Vol. 308. Pp. 13–19.
10. Ermolovich E.A., Ermolovich O.V. Effects of mechanical activation on the structural changes and microstructural characteristics of the components of ferruginous quartzite beneficiation tailings. International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Issue 6. Pp. 1043–1049.
11. Akshata G., Patil S. Anandhan. Influence of planetary ball milling parameters on the mechanochemical activation of fly ash. Powder Technology. 2015. Vol. 281. Pp. 151–158.
12. Sobolev K., Lin Z., Cao Y., Sun H., Flores-Vivian I., Rushing T., Cummins T., Weiss W.J. The influence of mechanical activation by vibro-milling on the early-age hydration and strength development of cement. Cement and Concrete Composites. 2016. Vol. 71. Pp. 53–62.
13. Fomina E.V., Strokova V.V., Kozhukhova N.I., Fomin A.E. Effect of Mechano Activation on Size Parameter of Aluminosilicate Rocks. Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9. No 22. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i22/95545.
14. Pawlasová S., Skavara F. High-temperature properties of geopolymer materials. 3rd Conference «In Alkali activated materials-research, production and utilization». Prague. Czech Republic. 2007. Pp. 523–525.
15. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Lebedev M.S., Sobolev K. Influence of Fe component from milling yield on characteristics of perlite based geopolymers. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 560. No 012148.
16. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture. Cement and Concrete Research. 2016. Vol. 85. Pp. 163–173.

Information about the authors

Kozhukhova, Natalia I. PhD, assistant professor. E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46.

Zhernovskaya, Irina V. Senior lecturer. E-mail: ziv_1111@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46.

Cherevatova Alla V. DSc, Professor. E-mail: cherry_611@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46

Sobolev Konstantin G., PhD, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering. College of Engineering and Applied Science. E-mail: k.sobolev@gmail.com. University of Wisconsin-Milwaukee. P.O. Box 413, Milwaukee, WI 53201, USA

Received in January 2020

Для цитирования:

Кожухова Н.И., Жерновская И.В., Череватова А.В., Соболев К.Г. Роль железосодержащего компонента в составе перлитового геополимера на его фазовые и структурные трансформации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 126–133. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-126-133

For citation:

Kozhukhova N.I., Zhernovskaya I.V., Cherevatova A.V., Sobolev K.G. Role of Fe-bearing component in per-lite-based geopolymer when structural and phase transformations. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No.2. Pp. 126–133. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-126-133