

- Сергей Николаевич ЛЕОНОВИЧ**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Технология строительного производства" Белорусского национального технического университета
- Дмитрий Вадимович СВИРИДОВ**, доктор химических наук, профессор, декан химического факультета, заведующий кафедрой неорганической химии Белорусского государственного университета
- Георгий Луквич ЩУКИН**, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории неорганической и общей химии Белорусского государственного университета
- Анатолий Леонидович БЕЛАНОВИЧ**, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории неорганической и общей химии Белорусского государственного университета
- Сергей Александрович КАРПУШЕНКОВ**, кандидат химических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией неорганической и общей химии Белорусского государственного университета
- Виктор Петрович САВЕНКО**, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории неорганической и общей химии Белорусского государственного университета

## ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕОВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

### PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS ON THE BASIS OF GEOKNITTING COMPOSITIONS

*В статье приведены результаты исследований по применению глины, отходов базальтовой ваты и глауконитового песка в качестве сырья для получения геовяжущих композиций и использования их в растворимых смесях и твердых образованиях.*

*In article results of researches are given on application of clay, waste of basalt cotton wool and glaukonitovy sand as raw materials for receiving geoknitting compositions and their use in soluble mixes and firm educations.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Под геополимерами (вяжущими композициями) следует понимать связующие системы, полученные из тонкодисперсных аморфных или кристаллических природных (глины, минералы) и техногенных (отходы, шлаки) материалов, затворенных растворами щелочей или солей, имеющими щелочную реакцию, способных произвести разрушение структуры дисперсных систем и фрагментации их компонентов с образованием низкополимерных анионов, из которых в определенных условиях (давление, добавки, температура) образуются новые связи за счет процесса конденсации, с последующим формированием полимерного или трехмерного каркаса [1]. Интерес в мировой практике к производству геополимеров в последние годы резко возрос. По-видимому, это вызвано тем, что геополимеры могут стать альтернативой портландцемента, когда будут преодолены трудности технологического характера, связанные с их использованием. Создание производств геополимеров обеспечит эффективный в экологическом и экономическом плане способ утилизации ряда техногенных отходов.

Целью исследований являлось определение практической целесообразности использования отечественных природных и техногенных материалов в качестве сырья для производства геовяжущих композиций, способных заменить в ряде случаев цементные и другие вяжущие, а также расширить сырьевую базу для производства строительных материалов с новыми свойствами.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На кафедре неорганической химии БГУ с участием сотрудников кафедры технологии строительства БНТУ были проведены исследования по применению новолучомльской глины, отходов базальтовой ваты и глауконитового песка в качестве сырья для получения геовяжущих и использования их в растворимых смесях и твердых образованиях, принимая во внимание доступность сырья, необходимость утилизации отходов производства керамзита, базальтовой ваты и разработки сырьевой базы для получения ферроалюмосиликатов.

В частности, в качестве отходов керамзитового производства использовали пыль обожженной при температуре 900 °С–1000 °С глины, химический состав которой соответствует усредненному составу исходной глины (масс. %): SiO<sub>2</sub> — 50,38, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 11,67, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 7,44, Na<sub>2</sub>O — 0,68, K<sub>2</sub>O — 4,49, MgO — 2,90, CaO — 5,45, TiO<sub>2</sub> — 0,92. Рентгеноструктурный анализ прокаленных глинистых образцов указывает на наличие структурных изменений в области алюмосиликатных образований. Такой же эффект проявляется и на образцах исходной глины, прокаленной при температуре 850 °С–900 °С в течение 3 ч, поскольку длительный прогрев глины при температуре 900 °С–1000 °С превращает ее в дегидратированный, частично или полностью аморфизированный, реакционноактивный материал.

В частности, введение в 100 г дегидратированной глины 100 мл 8%-ного раствора NaOH при интенсивном перемешивании вызывает разжижение глинистой массы. С увеличением концентрации щелочи в два раза скорость разрушения глины возрастает. В условиях гид-

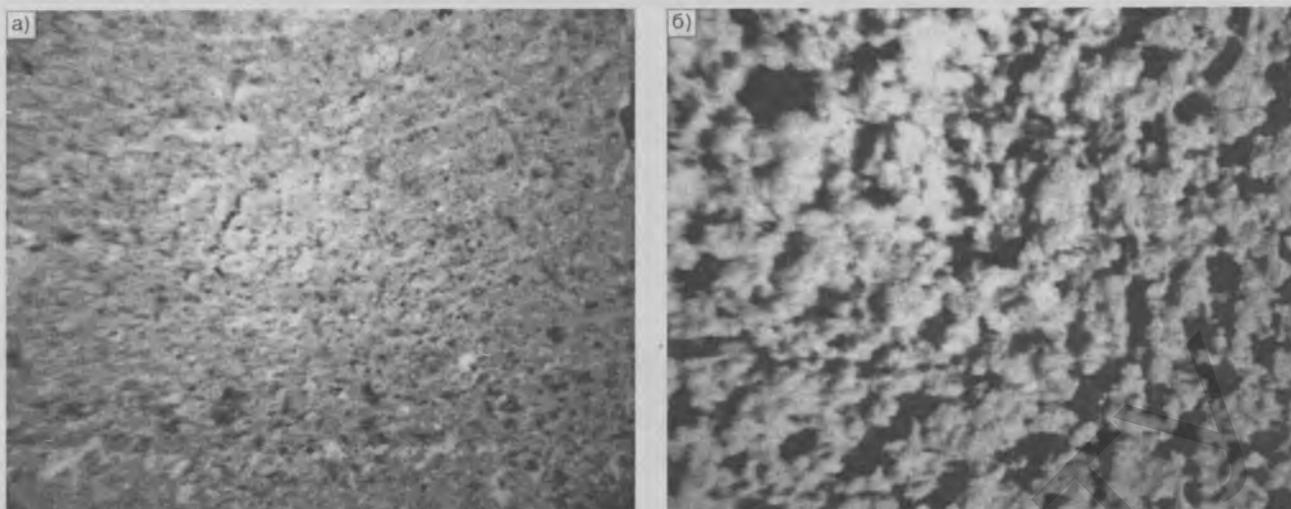


Рис. 1. Рельеф поверхности камнеобразного (а) и вспученного (б) черепков

ротермального прогрева при температуре 90 °С–100 °С в течение 8 ч глинистая масса переходит в полужидкое состояние. Последующая гидротермальная обработка в течение дополнительных 8 ч привела к загустеванию всей глинистой массы. При этом глинистая масса приобрела гелеобразное состояние. Эта масса была разделена на ряд образцов. Установлено, что интенсивная сушка, набор температуры до 400 °С за 1,5 ч обеспечивают формирование вспученного водостойкого черепка. Медленная сушка, набор температуры до 400 °С за 8 ч обеспечивают формирование малопористого, водостойкого черепка с твердостью 27 МПа. Последующее хранение этого образца на воздухе в течение 20 сут обеспечивает формирование камнеобразной структуры с прочностью на сжатие 53 МПа.

На рис. 1 приведены рельефы поверхности камнеобразных (а) и вспученных (б) черепков при увеличении в 200 раз.

Рассмотрим особенности щелочной активации минерала базальта, а вернее базальтовой ваты, которая широко используется в качестве теплоизоляционного материала.

В состав базальта входят: вулканическое стекло, микролиты плагиоклазов, титаномагнетиты, магнетиты, а также клинопироксены и его средний состав по Р. Де-Ли, что представляет, масс. %:  $\text{SiO}_2$  — 49,06,  $\text{TiO}_2$  — 1,36,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 15,70,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 5,38,  $\text{FeO}$  — 6,37,  $\text{MgO}$  — 6,17,  $\text{CaO}$  — 8,95,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 3,11,  $\text{K}_2\text{O}$  — 1,52,  $\text{MnO}$  — 0,31,  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 0,45,  $\text{H}_2\text{O}$  — 1,62. Плавление базальта при температуре 1500 °С обеспечивает его термическую активацию и переход в аморфитизированное стеклообразное состояние. Последнее обеспечивает процесс растворения ватного материала в сильно щелочных растворах и переход ее в вязкотекучее состояние.

В частности, строительная базальтовая вата после распушивания и дробления до 0,5–1,0 см помещалась в 35%-ный раствор  $\text{NaOH}$  при соотношении вата/раствор щелочи, равном 50/100. После тщательного перемешивания образец был поставлен для гидротермальной обработки при температуре 98 °С–100 °С на 6 ч. Как и при щелочной активации глинистой массы, процесс взаимодействия базальтовой ваты со щелочью сопровождался разжижением, и после 7–8 ч начался процесс загущения массы.

По мере добавления воды образовавшаяся базальтовая масса приобретает подобие жидкого стек-

ла, которое после высушивания до 30 % влажности при температуре 280 °С–350 °С вспучивается с образованием высокопористой водостойкой структуры. Если в базальтовый состав ввести 3 %–5 % охры, купрата натрия или алюмината натрия, то при вспучивании образуются пористые окрашенные образования соответственно в коричневый и синий цвета. Присутствие в базальтовом составе алюмината натрия обеспечивает образование прочной и водостойкой пористой массы.

При медленной сушке образца без добавок при температуре 50 °С формируется малопористая масса с твердостью на сжатие 6–8 МПа. Введение в состав 10%-ного алюмината натрия с последующей медленной сушкой до 5 % влажности формируется камнеобразная водостойкая структура с твердостью 25–30 МПа.

Основным недостатком кремнеземсодержащих вяжущих, которые нашли широкое применение в производстве строительных материалов и изделий с различными потребительскими свойствами, является их высокая водорастворимость. Последнее связано с выщелачиванием отдельных компонентов и разрушением структуры изделий, изготовленных с содержанием только кремнеземистых вяжущих [2].

Проведенный анализ минерального природного и техногенного сырья, отвечающего требованиям, предъявляемым к составу сырьевой смеси производства ферроалюмосиликатного связующего, показал, что глауконитовые пески со средним химическим составом, масс. %:  $\text{SiO}_2$  — 58,65,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 27,39,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 23,90,  $\text{FeO}$  — 9,38,  $\text{MgO}$  — 6,28,  $\text{CaO}$  — 3,47,  $\text{K}_2\text{O}$  — 7,38,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 3,34,  $\text{H}_2\text{O}$  — 13,7 в сильно щелочной среде подвергаются деструкции с образованием соответствующих силикатов, а в условиях конденсационных процессов образуют сложные устойчивые к воде образования, могут быть рекомендованы для исследования особенностей получения и свойств ферроалюмосиликатных вяжущих.

Глаукониты — это слоистые железистые гидрослюды, представляющие собой водный алюмосиликат калия, железа и магния. Они содержат до 28 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и 8,6 %  $\text{FeO}$  [3]. Для получения ферроалюмосиликатного вяжущего использовали калиброванный 0,5–0,7 мм глауконитовый песок, а в качестве активатора его разложения на составляющие силикаты — 35%-ный раствор  $\text{NaOH}$ . Ферроалюмосиликатное вяжущее получали

при интенсивном перемешивании 300 г глауконитового песка с 300 г 35%-ного раствора NaOH. После получения однородной массы часть ее в гидротермальных условиях прогревали при температуре 98 °С–100 °С в течение 24 ч, вторая часть содержалась при комнатной температуре.

Установлено, что гидротермальная обработка в течение 24 ч превратила песочную массу в гелеобразное состояние, а образец, находящийся при комнатной температуре, лишь за три недели достиг такого состояния.

Глауконитовая масса, содержащая до 15 % влаги, при температуре 350 °С–400 °С вспучивается с образованием высокопористой, водостойкой структуры с прочностью 0,8–1,3 МПа. В случае разбавления ее водой в соотношении 1:1 плотность снижается до значения 1,5 г/см<sup>3</sup>, с образованием устойчивого мутноватого коллоидного раствора. Введение в этот состав 5 % доломита или каоленита приводит к образованию камнеподобных структур с прочностью, после высыхания до 5 % остаточной влажности, 20–30 МПа. Установлено, что водный состав, содержащий 27 %–30 % ферроалюмосиликатного вяжущего обла-

дает более высокой клеящей способностью, чем жидкое стекло. В частности, прочность на отрыв после 7 сут хранения в лабораторных условиях клеевого шва 4х2 см предметного стекла жидким стеклом составляет 1,2 МПа, а ферросиликатным вяжущим — 3,6 МПа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным [4] и наблюдениям авторов, геовяжущие, полученные щелочной активацией природных и техногенных алюмосиликатных простых и сложных по химическому и минеральному составу, обладают свойством, отличным от цементных и силикатных вяжущих. В частности, геовяжущие обладают более высокой устойчивостью к агрессивным средам, перепадам температур, низкой проницаемостью и т. д. Кроме того, они позволяют получать цемент с новыми потребительскими свойствами и способностью формировать камнеобразные структуры, имеющие высокую прочность. Развитие их производства позволит существенно расширить сырьевую базу строительных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications / J. Davidovits. — 2008. — 592 p.
2. Международный патент WO 2010/140918 A1, заявка PCT/RU 2010/000022.
3. Плюснина, И. Н. Глауконит — аутогенный коллоидный слоистый силикат / И. Н. Плюснина, В. Т. Фролов // Вестник московского университета. Сер. 4. Геология. — 2009. — № 1. — С. 10–17.
4. Кривенко, П. В. Гидратационно-дегидратационный процесс получения искусственного камня на основе щелочно-силикатного связующего / П. В. Кривенко // Цемент. — 1993. — № 3. — С. 39–40.

Статья поступила в редакцию 15.03.2013.