

УДК 691.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ В СОСТАВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**© Р. Н. Ширяева¹, И. Е. Алехина¹, В. М. Латыпов², А. Д. Бадикова²,
Л. Р. Зайцева², Р. А. Хрипунова^{1*}, С. Р. Сахибгареев¹**¹*Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.*²*Уфимский государственный нефтяной технический университет
Россия, Республика Башкортостан, 450062 г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.*

Тел.: +7 (347) 229 92 12.

*Email: roza.khripunova@mail.ru

Искусственные строительные материалы, производимые на основе кремнезема, такие как цемент, бетон, силикатные стекла, различные огнеупоры и теплоизоляция, грубая и тонкая керамика имеют огромное практическое значение. Качество сухих строительных смесей зависит как от химических добавок, так и от правильного подбора минеральных компонентов. Содержание растворимого кремнезема в анализируемом растворе определяли на основании результатов фотоколориметрирования стандартных растворов кремниевой кислоты. Рентгенофазовое определение элементного состава опытных образцов компонентов строительных смесей проводилось на дифрактометре ДРОН-4-0. Содержание растворимого SiO₂ в образцах до 50 ммоль/л удовлетворяет требованиям российского стандарта. Также результаты общего содержания соединений кремния 43–62% масс. позволяют рекомендовать исследуемые образцы в качестве компонентов строительных смесей.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, кремнезем, состав, фотоколориметрический метод анализа, рентгенофазовый метод анализа.

Введение

Ежегодно в России на предприятиях нерудных строительных материалов остается около 90 млн. т отсевов дробления, которым необходимо более тысячи гектаров земельных участков [1]. Отсевы дробления горных пород накапливаются в больших объемах, что влечет за собой прямые экономические и экологические потери. По этой причине актуальным становится вопрос использования вторичного сырья.

Вместе с тем современная индустрия остро нуждается в технических средствах, способных расширить номенклатуру строительных материалов высокого качества из отсевов дробления. Такие материалы могут найти применение в качестве заменителей природного песка в дорожном строительстве, производстве бетонных и асфальтобетонных смесей и штукатурных растворов, производстве сухих строительных смесей, гранитной крошки для изготовления кровли, тротуарной плитки, фильтров для очистки воды, малых архитектурных форм и т.д. [2–3].

При эксплуатации бетонных изделий и конструкций коррозия бетона вызывается, главным образом, разрушением цементного камня и возникает в результате проникновения агрессивного вещества в толщу бетона [4]. Наиболее распространенным процессом внутренней коррозии является взаимодействие щелочей цемента и химических добавок с диоксидом кремния из состава заполнителей [5]. Продуктом данной реакции является силикатный гель, накопление которого может привести к увеличению осмотического давления внутри затвердевшего бетона и, в свою очередь, к его растрески-

ванию [6]. Одним из способов борьбы с реакцией щелочей с кремнеземом в бетоне является использование заполнителей, не содержащих реакционно-способного диоксида кремния [7]. При значительном количестве реакционно-способного SiO₂ и при высоком содержании щелочей происходит повреждение бетона. В российских стандартах заполнитель считают неактивным по отношению к щелочам, при содержании растворимого диоксида кремния до 50 ммоль/л [8].

В этой связи целью данной работы явилось определение соединений кремния в составе компонентов строительных смесей.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовались образцы компонентов строительных смесей: строительный отход – бетонный лом, отход при производстве металла – шлак ООО «Мечел-материалы» и керамзит.

Содержание соединений растворимого кремнезема определялось фотоколориметрическим методом анализа, элементный состав сухой строительной смеси – рентгенофазовым методом анализа.

Эксперимент по определению содержания растворимого кремнезема осуществлялся согласно ГОСТ 8269.0-97 [9].

Пробы для определения элементного состава подвергались предварительной подготовке. Навески опытных образцов массой по 25 г растворили в 1 М растворе гидроксида натрия и поместили в электропечь при температуре 80°C на 24 ч. После охлаждения содержимое каждого коррозионно-стойкого

сосуда фильтровали в сухую пробирку через фильтр. Фильтрат взбалтывали до получения однородного раствора.

Фильтрат, объемом 0.1–0.5 мл, перенесли в мерную колбу, добавили 60–70 мл дистиллированной воды и 2.5 мл раствора молибдата аммония. Содержимое колбы тщательно перемешивали. Спустя 10 мин добавили 2.5 мл 28%-ного раствора винной кислоты. Раствор выдерживали в течение 5 мин, затем добавили 2 мл раствора восстановителя. Раствор восстановителя готовился растворением 2.4 г сульфата натрия, 0.2 г эйконогена и 14 г метабисульфата калия дистиллированной водой в мерной колбе на 100 мл. Через 15 мин измеряли оптическую плотность раствора на фотоколориметре, применяя красный светофильтр, при $\lambda = 815$ нм в кювете толщиной 10 мм.

Содержание растворимого кремнезема в анализируемом растворе определяли по калибровочному графику, предварительно построенному на основании результатов фотоколориметрирования стандартных растворов кремниевой кислоты.

Содержание растворимого кремнезема SiO_2 , ммоль/л в анализируемых смесях определяли по формуле (1):

$$\text{SiO}_2 = \frac{C \cdot 100}{V}, \quad (1)$$

где C – концентрация испытуемого раствора, определенная по градуировочной кривой, ммоль/л; V – объем анализируемого раствора, взятого для фотоколориметрирования, мл.

Рентгенофазовое определение элементного состава опытных образцов компонентов строительных смесей проводили на дифрактометре ДРОН-4-07 в $\text{CuK}\alpha$ -излучении (40 кВ; 30 мА), размер щелей 2–4–0.25 мм.

Для качественного и количественного фазового анализа использовали рентгенограммы, полученные на дифрактометре Rigaku Ultima IV в котором реализован фокусный метод («Брэгг-Брентано» схема гониометра). Регистрацию проводили с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения и плоского графитового монохроматора на отраженном пучке. Для расчетов использовали длину волны $\text{K}\alpha 1 = 1.54060$ Å, полученную при напряжении и токе на рентгеновской трубке 40 кВ и 40 мА, соответственно. Съемку осуществляли с шагом 0.02° и со временем счета, равным 10 с.

Обсуждение результатов

По результатам фотоколориметрирования стандартных растворов кремниевой кислоты построен калибровочный график зависимости оптической плотности от количества растворимого кремнезема, который имеет линейную зависимость и описывается уравнением $y = 0.0337x - 0.0261$ ($R^2 = 0.94$). Результаты фотоколориметрического определения содержания растворимого кремнезема в исследуемых образцах, определенные по калибровочному графику, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты фотоколориметрического определения содержания растворимого кремнезема в исследуемых компонентах строительных смесей

| № образца | Наименование образцов | Концентрация SiO_2 , ммоль/л |
|-----------|-----------------------|---------------------------------------|
| 1 | Бетонный лом | 5.28 |
| 2 | Шлак | 5.43 |
| 3 | Керамзит | – |

Наибольшее содержание диоксида кремния в образце №2 – 5.43 ммоль/л. В образце №3 не удалось выделить фильтрат и определить содержание SiO_2 , так как керамзит имеет пористую структуру, которая образуется за счет выделяющихся во время обжига глины газов, и при отсутствии защитного слоя на гранулах впитывает влагу.

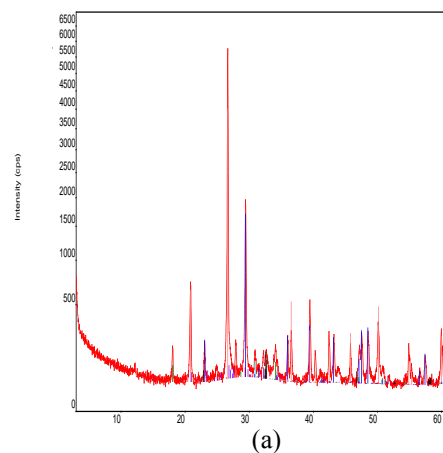
Рентгенофазовым методом анализа определили элементный состав исследуемых образцов (табл. 2).

Таблица 2

Состава образцов строительных смесей по результатам рентгенофазового анализа

| Компоненты образцов | Содержание, % мас. | | |
|---|--------------------|-------|-------|
| | №1 | №2 | №3 |
| Кварц SiO_2 | 47.60 | 43.00 | 62.41 |
| Доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ | 2.17 | – | 7.49 |
| Натриевый полевой шпат $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ | 3.60 | – | 15.70 |
| Каолинит $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ | 2.04 | – | – |
| Перовскит CaTiO_3 | 0.94 | – | – |
| Кальцит CaCO_3 | 33.50 | – | 1.11 |
| Акерманит $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ | – | 57.00 | – |
| Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 2.98 | – | – |
| Калиевый полевой шпат $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ | 3.92 | – | – |
| Хатрурит Ca_3SiO_5 | 3.25 | – | – |
| Герцинит FeAl_2O_4 | – | – | 13.29 |

По результатам рентгенофазового анализа установлено (рис. 1), что исследуемые образцы, главным образом, состоят из кварца (43–62%) и натриевого полевого шпата (3–16%). Содержание в них каолинита, перовскита, портландита не превышает 3%.



(a)

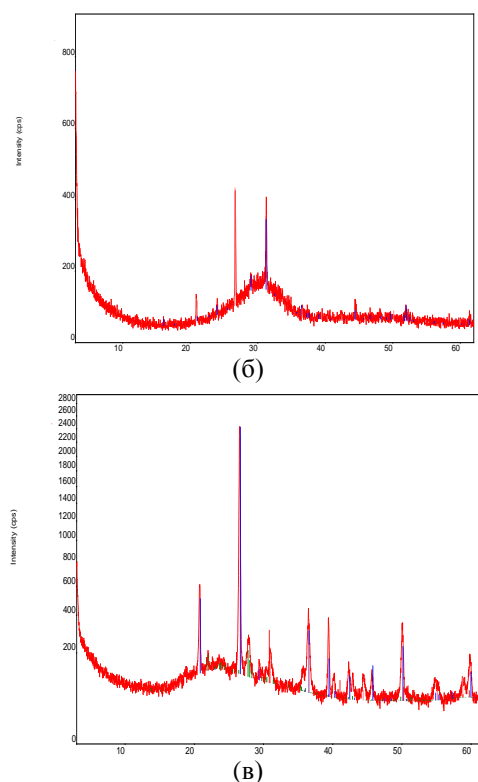


Рис. 1. Дифрактограммы (а) бетонного лома, (б) шлака и (в) керамзита.

Дифрактограмма представляет собой графическую зависимость распределения интенсивности отраженных от образца рентгеновских лучей при изменении угла отражения. Если вещество кристаллическое, то на рентгенограмме наблюдается ряд четких максимумов, а если вещество аморфное, то пики становятся размытыми, что наблюдается и в нашем случае.

Таким образом, фотоколориметрическим и рентгенофазовым методами определили содержа-

ние соединений кремния в составе сырьевых источников строительного материала. Содержание растворимого SiO_2 до 50 ммоль/л и общего SiO_2 43–62% масс. удовлетворяет требованиям российского стандарта в образцах и позволяет рекомендовать их для использования в составе строительных смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябов Р. Г., Хмелевский М. В., Воронкова Ю. А. Экологически рациональная технология повышения коррозионной стойкости бетонов модифицирующей добавкой из отходов горных предприятий // Известия Тульского государственного университета. 2016. №3. С. 210–216.
2. Методические рекомендации по применению в асфальтобетоне отсевов дробления магматических горных пород. Введ. 1982-01-01. М.: Союздорнии, 1982. 18 с.
3. Кузьмина В. П. Наполнители для сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. №3. 2017. С. 8–15.
4. Ржевская С. В. Материаловедение: Учебник для вузов. М.: изд-во МГУ, 2003. 456 с.
5. Бадикова А. Д., Шарипов Т. В., Алехина И. Е., Федина Р. А., Хрипунова Р. А., Сахибгареев С. Р. Ингибирующие добавки для получения силикатных буровых реагентов // Вестник Башкирского университета. 2018. Т. 23. №1. С. 52–55.
6. Саулин Д. В., Рожкова А. В. Исследование щелочесиликатного взаимодействия пеностеклянных наполнителей с цементным вяжущим // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2017. №1. С. 89–105.
7. Саулин Д. В., Рожкова А. В. Исследование щелочесиликатного взаимодействия пеностеклянных наполнителей с цементным вяжущим // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2017. №1. С. 89–105.
8. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Взамен ГОСТ 8736-93; введ. 2015-04-01. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.
9. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. Взамен ГОСТ 8269-87; введ. 1998-07-01. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1998. 109 с.

Поступила в редакцию 11.11.2018 г.

SILICON COMPOUNDS AS COMPONENTS OF CONSTRUCTION MIXES

© R. N. Shiryaeva¹, I. E. Alekhina¹, V. M. Latypov², A. D. Badikova²,
L. R. Zaytseva², R. A. Khripunova^{1*}, S. R. Sakhibgareev¹

¹Bashkir State University
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.

²Ufa State Petroleum Technological University
1 Kosmonavtov Street, 450062 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.

Phone: +7 (347) 229 92 12.

*Email: roza.khripunova@mail.ru

Artificial construction materials produced on the basis of silica, such as cement, concrete, silicate glass, various refractories and thermal insulation, coarse and fine ceramics are of great economic importance. Silica has the ability to positively affect the properties of construction materials, improving their quality characteristics: strength, frost resistance, permeability, chemical resistance, sulfate resistance, wear resistance, etc. The quality of dry construction mixes depends on both chemical additives and the correct selection of mineral components. The content of soluble silica in the analyzed solution was determined on the basis of the results of photolorimetry of standard solutions of silicic acid. X-ray phase determination of the elemental composition of prototypes of components of construction mixes was carried out on the DRON-4-0 diffractometer. The content of soluble SiO₂ in samples up to 50 mmol/l meets the requirements of the Russian standard. In addition, according to the results of the evaluation of total content of silicon compounds, which is 43–62% by weight, the studied samples can be recommend for use as components of construction mixes.

Keywords: dry construction mixes, silica, composition, photolorimetric analysis method, X-ray phase analysis method.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Ryabov R. G., Khmelevskii M. V., Voronkova Yu. A. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. No. 3. Pp. 210–216.
2. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu v asfal'tobetone ot-sevov drobleniya magmaticheskikh gornykh porod*. Vved. 1982-01-01. Moscow: Soyuzdornii, 1982.
3. Kuz'mina V. P. *Sukhie stroitel'nye smesi*. No. 3. 2017. Pp. 8–15.
4. Rzhevskaya S. V. *Materialovedenie: Uchebnik dlya vuzov*. Moscow: izd-vo MGGU, 2003.
5. Badikova A. D., Sharipov T. V., Alekhina I. E., Fedina R. A., Khripunova R. A., Sakhibgareev S. R. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2018. Vol. 23. No. 1. Pp. 52–55.
6. Saulin D. V., Rozhkova A. V. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*. 2017. No. 1. Pp. 89–105.
7. Saulin D. V., Rozhkova A. V. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*. 2017. No. 1. Pp. 89–105.
8. GOST 8736-2014. *Pesok dlya stroitel'nykh rabot. Tekhnicheskie usloviya. Vzamen GOST 8736-93; vved. 2015-04-01*. Moscow: Standartinform, 2015.
9. GOST 8269.0-97. *Shcheben' i gravii iz plotnykh gornykh porod i otkhodov promyshlennogo proizvodstva dlya stroitel'nykh rabot. Metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy. Vzamen GOST 8269-87; vved. 1998-07-01*. Moscow: Gosstroii Rossii, GUP TsPP, 1998.

Received 11.11.2018.