

UDC 691.322

Author: BADIKOVA Albina Darisovna, Doctor of Engineering, Professor, Ufa State Petroleum Technical University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, badikova_albina@mail.ru;

Author: SIDELNIKOV Artem Viktorovich, Doctor of Chemistry, Assistant, Ufa State Petroleum Technical University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, artsid2017@gmail.com;

Author: SHIRIAEVA Rozaliia Naufanovna, Ph. D. in Chemistry, Assistant Professor, Bashkir State University; Zaki Validi st. 32, Ufa, Russia, 450076, shiryaeva@rambler.ru;

Author: MAZITOVA Aliya Karamovna, Doctor of Chemistry, Professor, Head of Department «Applied and Natural Sciences», Ufa State Petroleum Technological University; Mendeleev St., 195, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450080, elenaasf@yandex.ru;

Author: SAKHIBGAREEV Samat Rifovich, Student, Bashkir State University; Zaki Validi st. 32, Ufa, Russia, 450076, e-mail: samat.sax2014@yandex.ru;

Author: LATYPOV Valerii Markazovich, Doctor of Engineering, Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Mendeleev St., 195, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450080, Russian Federation, e-mail: stexpert@mail.ru;

Author: ZAITSEVA Liaisian Robertovna, Graduate Student, Ufa State Petroleum Technological University; Mendeleev St., 195, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450080, Russian Federation, e-mail: lesia_14@mail.ru;

Author: ABDULMINEV Kim Gimadievich, Doctor of Engineering, Professor, Ufa State Petroleum Technical University; Kosmonavtovst. 1, Ufa, Russia, 450062, ufa.rusoil@gmail.com

DETECTION OF SILICON COMPOUNDS IN THE COMPOSITION OF FILLERS OF CONCRETE FROM PRODUCTION WASTE

EXTENDED ABSTRACT:

The accumulation of waste products is an urgent problem of the industry. The recycling in the production of building materials is an important task worldwide. The authors of the paper studied the content of soluble silica in the composition of the aggregates of concrete made from industrial waste. It was found that the content of soluble silicon compounds is in the normal range, and the studied materials can be used as aggregates in concrete. These results make it possible to perform further research on the manufacture of concrete with high corrosion resistance to aggressive effects with the use of aggregates from industrial wastes.

Key words: concrete with high corrosion resistance, recycling, aggregates, production wastes, soluble silica, silicon compounds, alkaline corrosion of concrete.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-184-200](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-184-200)



MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Detection of silicon compounds in the composition of fillers of concrete from production waste</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 184– 200. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-184-200" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Badikova A.D., Sidelnikov A.V., Shiriaeva R.N., Mazitova A.K., Sakhigbareev S.R., Latypov V.M., Zaitseva L.R., Abdulminev K.G.</a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-6-2018/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-6-2018/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="badikova_albina@mail.ru" rel="cc:morePermissions">badikova_albina@mail.ru</a>.
```

References:

1. *Glasser L.S.D.* Osmotic Pressure and Swelling of Gels. *Cem. And Concr. Res.* 1979. № 4. pp. 515–517.
2. *Stark David, Bhatti Muhammad S.Y.* Alkali-silica Reactivity: Effect of Alkali in Aggregate on Expansion. *Alkalies Concr. Symp.*, Los Angeles, Calif., 25 June, 1985. Philadelphia, Pa. 1986. pp. 16–30.
3. *Uchicawa Hiroshi, Ichida Shunichiro, Ogawa Kenji.* Diffusion of alkaline ions in hardened cement paste with the additives of ground granulated blast furnace slag and fly ash. *J. Res. Onoda Cem. Co.* 1985. № 113. pp. 1–9.
4. *Romanenko I.I., Kalashnikov V.I., Petrovnina I.N., Pint E.M., Romanenko M.I.* Vliyaniye prirody zapolnitelya na fiziko-mekhanicheskie svoystva shlakoshchelochnykh betonov [Influence of the fillers nature on physical and mechanical properties of slag-alkali concrete]. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and construction]*. 2011. № 1. pp. 34–39. (In Russian).
5. *Tolypin N.M., Anokhin S.A.* Vliyaniye vida vyazhushchego i zapolnitelya na kinetiku processa vyzhchelachivaniya [Influence of the type of binder and aggregate on the kinetics of the leaching process]. *Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva: materialy vserossiyskoj XXXI Nauchno-tekhnicheskoy konferencii [Actual problems of modern construction: materials of the All-Russian XXXI Scientific and Technical Conference. Penza]*. 2001. pp. 165–166. (In Russian).
6. *Ryabov R.G., Khmelevsky M.V., Voronkova Yu.A.* Ekologicheski racional'naya tekhnologiya povysheniya korrozionnoj stojkosti betonov modificiruyushchej dobavkoj iz othodov gornyh predpriyatij [Environmentally rational technology to improve the corrosion resistance of concrete modifying additive from waste mining enterprises]. *Izvestiya Tula State University*. 2016. № 3. pp. 210–216. (In Russian).



7. Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu v asfal'tobetone otsevv drobleniya magmatischeikh gornyyh porod [Methodical recommendations on the use of crushing of igneous rocks in asphalt concrete]. Commence 1982-01-01. Moscow. Soyzdornii, 1982. 18 p. (In Russian).
8. *Kuzmina V.P.* Napolniteli dlya suhih stroitel'nykh smesey [Fillers for dry building mixes]. Dry building mixes. № 3. 2017. pp. 8–15. (In Russian).
9. *Rzhevskaya S.V.* Materialovedenie: Uchebnik dlya vuzov [Materials Science: Textbook for universities]. Moscow. MSHU, 2003. 456 p. (In Russian).
10. *Badikova A.D., Sharipov T.V., Alekhina I.E., Fedina R.A., Khripunova R.A., Sahib-gareev S.R.* Ingibiruyushchie dobavki dlya polucheniya silikatnykh burovyyh reagentov [Inhibiting additives for producing silicate drilling reagents]. Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2018. V. 23. № 1. Pp. 52–55. (In Russian).
11. *Saulin D.V., Rozhkova A.V.* Issledovanie shchelochesilikatnogo vzaimodeystviya penostekol'nykh napolnitelej s cementnym vyazhushchim [Investigation of the alkali-silicate interaction of foamed glass fillers with cement binder]. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. 2017. № 1. Pp. 89–105. (In Russian).
12. State Standard. GOST 8736-2014. Sand for construction work. Technical conditions. Instead of GOST 8736-93; enter 2015-04-01. Moscow. Standardinform, 2015. 8 p. (In Russian).
13. State Standard. GOST 8269.0-97. Crushed stone and gravel from dense rocks and industrial waste for construction works. Methods of physical and mechanical tests. Instead of GOST 8269-87; commence 1998-07-01. Moscow. Gosstroy of Russia, 1998. 109 p. (In Russian).
14. *Badikova A.D., Kulyashova I.N., Yalalova R.A., Tashbulatova V.F., Alekhina I.E.* Opredelenie hroma i zheleza v sostave modificirovannykh lignosul'fonatnykh burovyyh reagentov rentgenofluorescentnym metodom analiza [Determination of chromium and iron in the composition of modified lignosulfonate drilling reagents by the X-ray fluorescence method of analysis]. Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2016. V. 21. № 4. Pp. 931–934. (In Russian).
15. *Latypov V.M., Latypova T.V., Lutsyk E.V., Fedorov P.A.* Dolgovechnost' betona i zhelezobetona v prirodnykh agressivnykh sredakh [The durability of concrete and reinforced concrete in the natural aggressive environments]. Ufa, 2nd ed., Rev. and ext. USPTU, 2014. 288 p. (In Russian).
16. *Bertolini L., Lollini F., Redaelli E.* Influence of concrete composition on parameters related to the durability of reinforced concrete structures. International RILEM Workshop on Integral Service Life Modelling of Concrete Structures. Milan. RILEM, 2013. pp. 71–78.
17. *Royak G.S.* Predotvrashchenie vnutrennej korrozii betona pri dejstvii shchelochey cementa na zapolniteli [Prevention of internal corrosion of concrete under the action of cement alkali on aggregates]. Concrete technologies. 2012. № 5–6. Pp. 36–37. (In Russian).



18. *Rakhimbaev Sh.M., Tolypin N.M.* Sposob opredeleniya reakcij mezhdru shchelochami i zapolnitel'em [The method of determining the reactions between alkalis and aggregate]. Bulletin of the Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. 2011. № 2. Pp. 21–23. (In Russian).
19. *Larionova Z.M. Nikitina L.V., Garashin V.R.* Fazovyy sostav, mikrostruktura i prochnost' cementnogo kamnya i betona [The phase composition, microstructure and strength of cement stone and concrete]. Moscow, Stroyizdat, 1977. 159 p. (In Russian).
20. *Polak A.F., Babkov V.V., Andreeva E.P.* Tverdenie mineral'nyh vyazhushchih veshchestv [Hardening of mineral binders]. Ufa. Bashkortostan publishing house, 1990. 216 p. (In Russian).
21. *Volzhenskii A.V.* Mineral'nye vyazhushchie veshchestva [Mineral binders]. Moscow, Stroyizdat, 1986. 464 p. (In Russian).
22. *Kuznetsova T.V.* Alyuminatnye i sul'foalyuminatnye cementy [Aluminate and sulfoaluminate cements]. Moscow, Stroyizdat, 1986. 208 p. (In Russian).

DEAR COLLEAGUES!**THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:**

Badikova A.D., Sidelnikov A.V., Shiriaeva R.N., Mazitova A.K., Sakhigareev S.R., Latypov V.M., Zaitseva L.R., Abdulminev K.G. Detection of silicon compounds in the composition of fillers of concrete from production waste. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 184–200. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-184-200. (In Russian).



УДК 691.322

Автор: БАДИКОВА Альбина Дарисовна, д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Физическая и органическая химия», Уфимский государственный нефтяной технический университет; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, e-mail: badikova_albina@mail.ru;

Автор: СИДЕЛЬНИКОВ Артем Викторович, д-р хим. наук, доц., зав. межкафедральной лаборатории технологического факультета, Уфимский государственный нефтяной технический университет; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, e-mail: artsid2017@gmail.com;

Автор: ШИРЯЕВА Розалия Науфановна, канд. хим. наук, доц. каф. «Аналитическая химия», Башкирский государственный университет; ул. Заки Валиди, 32, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450076, e-mail: r.n.shiryaeva@rambler.ru;

Автор: МАЗИТОВА Алия Карамовна, д.х.н., проф., зав. каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Менделеева, 195, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450080, elenaasf@yandex.ru;

Автор: САХИБГАРЕЕВ Самат Рифович, студент каф. «Аналитическая химия», Башкирский государственный университет; ул. Заки Валиди, 32, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450076, e-mail: samat.sax2014@yandex.ru;

Автор: ЛАТЫПОВ Валерий Марказович, д-р техн. наук, проф. каф. «Строительные конструкции», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Менделеева, 195, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450080, e-mail: stexpert@mail.ru;

Автор: ЗАЙЦЕВА Ляйсян Робертовна, аспирант каф. «Строительные конструкции», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Менделеева, 195, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450080, e-mail: lesia_14@mail.ru;

Автор: АБДУЛЬМИНЕВ Ким Гимадиевич, д-р техн. наук, проф., каф. «Технология нефти и газа», Уфимский государственный нефтяной технический университет; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, e-mail: ufa.rusoil@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ В СОСТАВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ БЕТОНА ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ

АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

Накопление отходов производства является актуальной проблемой промышленности, а использование вторичного сырья при производстве строительных материалов является важной задачей во всем мире. В статье рассмотрены результаты исследования содержания растворимого кремнезема в составе заполнителей бетона из отходов производств. Установлено, что содержание растворимых соединений кремния – в пределах нормы, а исследованные материалы можно использовать в качестве заполнителей в бетон.



На основании этих результатов мы можем выполнять дальнейшие исследования по изготовлению бетонов с повышенной коррозионной стойкостью к агрессивным воздействиям с применением заполнителей из отходов производств.

Ключевые слова: бетон повышенной коррозионной стойкости, вторичное использование материалов, заполнители, отходы производств, растворимый кремнезем, соединения кремния, щелочная коррозия бетона.

DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-184-200

МАШИНОЧИТАЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СС-ЛИЦЕНЗИИ В МЕТАДАННЫХ СТАТЬИ (HTML-код):

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Detection of silicon compounds in the composition of fillers of concrete from production waste</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotechnology in Construction. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 184–200. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-184-200" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Badikova A.D., Sidelnikov A.V., Shiriaeva R.N., Mazitova A.K., Sakhibgareev S.R., Latypov V.M., Zaitseva L.R., Abdulminev K.G.</a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-6-2018/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-6-2018/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="badikova_albina@mail.ru" rel="cc:morePermissions">badikova_albina@mail.ru</a>.
```

Рациональное использование природных ресурсов является актуальной проблемой промышленности строительных материалов во всем мире. Быстрое развитие регионов РФ, новые важные задачи диктуют высокие скорости производства строительных работ. Однако в стремлении обеспечить высокие темпы возведения зданий и сооружений важно также обеспечить долговечность строительных конструкций.

Основной причиной деструктивных процессов, проходящих в железобетонных конструкциях, является коррозия бетона различных видов. Поскольку борьба с коррозионными последствиями требует значительных материально-технических вложений, важно обеспечить получение бетонов с повышенной коррозионной стойкостью.



Разрушение бетона при проникновении в него агрессивных веществ происходит по поверхности раздела цементной матрицы с заполнителем, где формируются микротрещины, таким образом, увеличивая сцепление между цементным камнем и заполнителем, а также уплотняя эту зону, можно получить бетон с повышенной стойкостью к агрессивным воздействиям.

Заполнители в бетон бывают инертными и активными. Мнения ученых [1, 2, 3] о том, какой вид заполнителя эффективнее использовать в бетоне, расходятся [4]. Инертные заполнители в настоящее время наиболее широко используются для изготовления бетонов, они не вступают в реакцию с цементным камнем и поэтому в контактной зоне формируются микротрещины, обеспечивающие ускоренный массоперенос агрессивной среды вглубь бетона, вызывая его коррозию. Активные заполнители, в отличие от инертных, реагируют с цементной матрицей бетона по различным механизмам, снижая проницаемость контактной зоны для агрессивных компонентов. Авторами работы [5] выделены два типа активных заполнителей: I тип – химически активные заполнители, использование сопровождается срастанием заполнителей и цементной матрицы практически без зазоров; II тип активных заполнителей характеризуется повышенной пористостью поверхностных слоев. Благодаря этому происходит проникновение наиболее дисперсных фракций вяжущего в поверхностные слои заполнителя с образованием дополнительных связей на границе «цементная матрица – заполнитель» и уплотнением этой зоны.

Ежегодно в России при добыче нерудного сырья складироваться в отвалы около 90 млн т отсевов дробления, которые требуют более 1000 га земельных участков [1]. По этой причине актуальным становится вопрос использования вторичного сырья в качестве заполнителя бетона, что позволит улучшить экологическую обстановку.

В российских стандартах заполнитель считают нереакционноспособным по отношению к щелочам, при содержании растворимого диоксида кремния до 50 ммоль/л.

Диоксид кремния имеет несколько модификаций. В природе встречается главным образом в виде минерала кварца (гексагональная структура), а также кристобалита (кубическая структура) и тридимита (гексагональная структура). Модификации SiO_2 отличаются характером расположения кремнекислородных тетраэдров SiO_2 в пространстве.



В этой связи целью данной работы явилось определение содержания реакционноспособного кремнезема в заполнителях в бетон.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования рассматривались следующие заполнители Южного Урала:

- 1) песок карьер Кабаково, г.Уфа;
- 2) керамзит;
- 3) отход при производстве щебня – отсев дробления щебня карьер Сатка;
- 4) отход при производстве щебня – отсев дробления щебня карьер Сангалык;
- 5) строительный отход – бетонный лом двух видов, является активным заполнителем II типа;
- 6) отход при производстве металла – шлак ООО «Мечел-материалы», г. Челябинск, является активным заполнителем I типа.

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

Эксперимент по определению содержания растворимого кремнезема осуществлялся согласно ГОСТ 8269.0-97 [14].

Пробы для определения элементного состава подверглись предварительной подготовке. Навески опытных образцов массой по 25 г растворяли в 1 М растворе гидроксида натрия и помещали в электропечь при температуре 80°C на 24 часа. После охлаждения содержимое каждого коррозионно-стойкого сосуда фильтровали в сухую пробирку через сухой фильтр. Фильтрат взбалтывали до получения однородного раствора.

Фильтрат объемом 0,1–0,5 мл переносили в мерную колбу и добавляли 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 добавляли 2 мл раствора восстановителя. Раствор восстановителя готовили растворением 2,4 г сульфита натрия, 0,2 г эйконогена и 14 г метабисульфита калия дистиллированной водой в мерной колбе на 100 мл. Через 15 мин измеряли оптическую плот-



ность 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:

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

где C – концентрация испытуемого раствора, определенная по калибровочному графику, 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). Съемку проводили с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения и плоского графитового монохроматора на отраженном пучке. Для расчетов использовали длину волны $\text{K}\alpha_1 = 1.54060 \text{ \AA}$, 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.

Проводили также определение элементного состава образцов методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (ЭДРФА) на спектрометре EDX-800 фирмы Shimadzu с рентгеновской трубкой с родиевым анодом при условиях: напряжение 15–50 кВ, ток 20–1000 мкА, в атмосфере вакуума, коллиматор 5 мм, время измерения 15 мин. Анализ осуществлялся методом фундаментальных параметров, обеспечиваемый программным сопровождением прибора, с использованием каналов измерений [Ti–U], [C–Sc], [S–K].

Пробы для определения элементного состава подвергаются минимальной предварительной подготовке. Порошок образца прессуется в таблетки на подложке борной кислоты прессом при давлении 10–15 т [15].



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 $y = 0.0337x - 0.0261$, коэффициент аппроксимации равен 0.94.

Результаты фотоколориметрического определения содержания растворимого кремнезема в исследуемых образцах, определенных по калибровочному графику, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты фотоколориметрического определения содержания растворимого кремнезема в исследуемых компонентах строительных смесей

№ образца	Наименование образцов	Концентрация растворимого SiO ₂ , ммоль/л
1	Отсев щебня Сатка	18.14
2	Бетонный лом 1	43.10
3	Песок карьер Кабаково	49.13
4	Бетонный лом 2	25.28
5	Шлак	25.43
6	Керамзит	–
7	Отсев щебня Сангалык	11.10

Наибольшее содержание диоксида кремния в образце № 3 – 49.13 ммоль/л. В образце № 6 не удалось выделить фильтрат и определить содержание SiO₂, так как керамзит имеет очень 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

**Результаты элементного состава образцов компонентов
строительных смесей**

Состав образцов	Номер образца / Содержание, % мас.						
	1	2	3	4	5	6	7
Кварц SiO_2	27.73	75.48	91.79	47.60	43.00	64.41	22.21
Клинохлор $(\text{Mg}, \text{Al})_6[\text{Si}_{3,1-2}, \text{Al}]_{0,9-1,2}\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	19.97	–	–	–	–	–	20.14
Доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	9.43	7.99	–	2.17	–	7.49	1.09
Натриевый полевой шпат $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	22.96	1.08	1.94	3.60	–	15.70	16.40
Каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	1.71	2.16	0.92	2.04	–	–	2.82
Перовскит CaTiO_3	2.53	–	–	0.94	–	–	–
Кальцит CaCO_3	2.27	4.11	–	33.50	–	1.11	1.31
Полевой шпат триклинный $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	1.77	4.86	–	–	–	–	–
Пренит $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	4.05	–	–	–	–	–	–
Иллит $(\text{K}_{0,75}(\text{H}_3\text{O})_{0,25})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}((\text{H}_2\text{O})_{0,75}(\text{OH})_{0,25})_2$	7.51	–	–	–	–	–	–
Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.06	–	–	–	–	–	–
Ангидрит CaSO_4	3.01	–	–	–	–	–	–
Акерманит $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	–	–	–	–	57.00	–	–
Паргасит $\text{NaCa}_2(\text{Mg}_4\text{Al})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	–	–	–	–	–	–	–
Клиноцоизит $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$	–	–	–	–	–	–	–
Калиевая слюда $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	–	2.08	3.19	–	–	–	2.70
Мышьяк (As)	–	2.25	–	–	–	–	–
Портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$	–	–	–	2.98	–	–	–
Калиевый полевой шпат $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	–	–	2.17	3.92	–	–	–
Хатрурит Ca_3SiO_5	–	–	–	3.25	–	–	–
Герцинит FeAl_2O_4	–	–	–	–	–	13.29	–



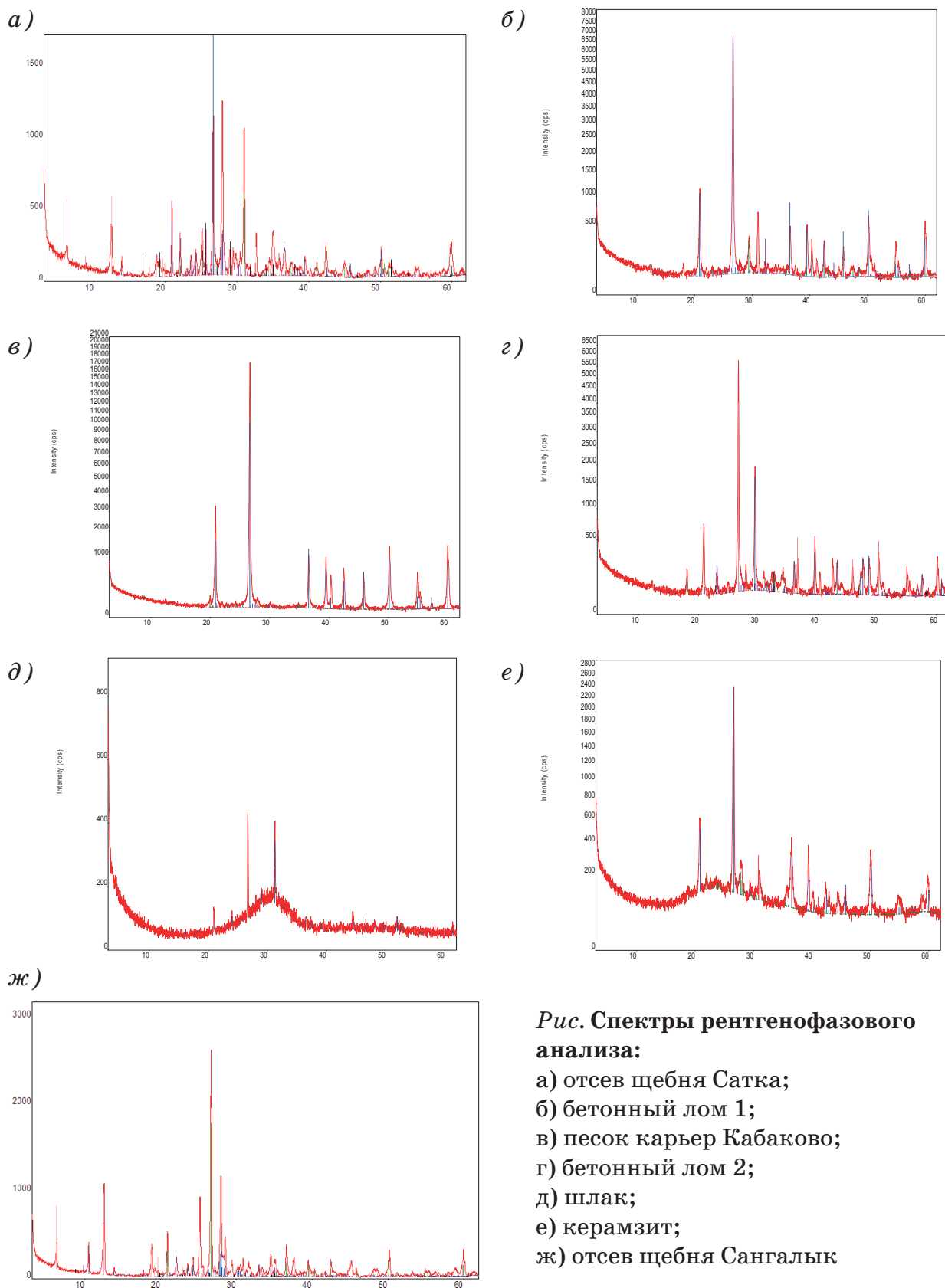


Рис. Спектры рентгенофазового анализа:

- а) отсев щебня Сатка;
- б) бетонный лом 1;
- в) песок карьер Кабаково;
- г) бетонный лом 2;
- д) шлак;
- е) керамзит;
- ж) отсев щебня Сангалык



По результатам рентгенофазового анализа установлено (рис.), что главными минералами, которыми сложены исследованные образцы, являются кварц (22–92%) и натриевый полевой шпат (1–23%). Отмечаются следовые содержания (<3%) каолинита, перовскита, калиевой слюды. Возможно, присутствует небольшая примесь гипса.

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 и наблюдается в нашем случае, для части образцов.

Результаты определения элементного состава заполнителей в бетон методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрального анализа (ЭДРФА) представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты лабораторных испытаний элементного состава
исследованных образцов**

Ана-лит	Содержание, % масс.						
	1	2	3	4	5	6	7
Si	37.141±0.569	57.122±0.620	90.856±0.664	38.677±0.412	34.649±0.487	49.811±0.780	29.236±1.248
Ca	20.519±0.172	30.809±0.109	0.536±0.123	53.016±0.221	47.922±0.128	10.756±0.081	5.942±0.112
Al	14.483±1.013	3.281±0.822	3.625±0.547	–	8.870±1.262	17.610±0.908	–
Ti	1.016±0.055	0.309±0.069	–	0.299±0.037	3.450±0.110	1.559±0.056	0.792±0.160
Mn	0.430±0.030	0.199±0.016	–	0.205±0.032	1.866±0.050	0.295±0.028	–
Fe	25.296±0.181	6.458±0.102	4.026±0.056	6.329±0.091	1.063±0.031	15.644±0.132	64.031±0.735
K	1.018±0.036	0.557±0.036	0.787±0.073	0.542±0.036	1.045±0.041	4.144±0.060	–
S	–	1.265±0.032	0.169±0.032	0.678±0.031	0.953±0.026	–	–
V	0.096±0.023	–	–	–	0.182±0.050	0.088±0.037	–
Cr	–	–	–	0.164±0.041	–	0.093±0.026	–
Zn	–	–	–	0.089±0.014	–	–	–



Согласно результатам анализа, представленным в табл., следует учесть, что расчет содержания элементов в образцах осуществлялся методом фундаментальных параметров; согласно программному обеспечению спектрометра.

Таким образом, по полученным данным, выявлено, что по основному элементному составу образцы сопоставимы между собой, что также подтверждено методами рентгенофазового и энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализов.

Таблица 4

Результаты сравнительных испытаний определения содержания соединений кремния в исследованных заполнителях

№	Исследуемые образцы	Фотоколориметрический метод (содержание растворимого SiO ₂), ммоль/л	Рентгенофазовый метод	Метод ЭДРФА
			Содержание общего SiO ₂ , % мас.	
1	Отсев щебня Сатка	18.14	27.73	37.14
2	Бетонный лом 1	43.10	75.48	57.12
3	Песок карьер Кабаково	49.13	91.79	90.86
4	Бетонный лом 2	25.28	47.60	38.68
5	Шлак	25.43	43.00	34.65
6	Керамзит	–	64.41	49.81
7	Отсев щебня Сангалык	11.10	22.21	29.24

Таким образом, фотоколориметрическим, рентгенофазовым и рентгенофлуоресцентным методами анализов определили содержание соединений кремния в составе сырьевых источников строительного материала. Содержание растворимого SiO₂ в исследованных образцах – до 50 ммоль/л и общего SiO₂ – 23–92% масс., что удовлетворяет требованиям российского стандарта и позволяет рекомендовать их для ис-



пользования в качестве заполнителя в бетоне. Проведенные испытания являются первым этапом в подборе заполнителя для изготовления бетона с повышенной коррозионной стойкостью, который позволил нам исключить возможность протекания щелочной коррозии в бетоне. Следующим этапом в исследованиях является изготовление бетонов и исследование его свойств с целью получения бетона с повышенной коррозионной стойкостью к агрессивным воздействиям.

Библиографический список:

1. *Glasser L.S.D.* Osmotic Pressure and Swelling of Gels // *Cem. And Concr. Res.* – 1979. – № 4. – pp. 515–517.
2. *Stark David, Bhattu Muhammad S.Y.* Alkali-silica Reactivity: Effect of Alkali in Aggregate on Expansion // *Alkalies Concr. Symp.*, Los Angeles, Calif., 25 June, 1985. – Philadelphia, Pa. – 1986. – Pp. 16–30.
3. *Uchicawa Hiroshi, Ichida Shunichiro, Ogawa Kenji.* Diffusion of alkaline ions in hardened cement paste with the additives of ground granulated blast furnace slag and fly ash. // *Онода кэнкю хококу = J. Res. Onoda Cem. Co.* – 1985. – № 113. – Pp. 1–9.
4. *Романенко И.И., Калашников В.И., Петровина И.Н., Пинт Э.М., Романенко М.И.* Влияние природы заполнителя на физико-механические свойства шлакощелочных бетонов // *Региональная архитектура и строительство.* – 2011. – № 1. – С. 34–39.
5. *Толыпина Н.М., Анохин С.А.* Влияние вида вяжущего и заполнителя на кинетику процесса выщелачивания // *Актуальные проблемы современного строительства: материалы всероссийской XXXI Научно-технической конференции.* – Пенза. – 2001. – С. 165–166.
6. *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.
7. Методические рекомендации по применению в асфальтобетоне отсевов дробления магматических горных пород. Введ. 1982-01-01. – М.: Союздорнии, 1982. – 18 с.
8. *Кузьмина В.П.* Наполнители для сухих строительных смесей // *Сухие строительные смеси.* – 2017. – № 3. – С. 8–15.
9. *Ржевская С.В.* Материаловедение: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – 456 с.



10. 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.
11. Саулин Д. В., Рожкова А. В. Исследование щелочесиликатного взаимодействия пеностекольных наполнителей с цементным вяжущим // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2017. – № 1. – С. 89–105.
12. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Взамен ГОСТ 8736-93; введ. 2015-04-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.
13. 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, 1998. – 109 с.
14. Определение хрома и железа в составе модифицированных лигносульфонатных буровых реагентов рентгенофлуоресцентным методом анализа / А.Д. Бадикова, И.Н. Куляшова, Р.А. Ялалова, В.Ф. Ташбулатова, И.Е. Алехина // Вестник Башкирского университета. – 2016. – Т. 21, № 4. – С. 931–934.
15. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Луцык Е.В., Федоров П.А. Долговечность бетона и железобетона в природных агрессивных средах: монография. – 2-ое изд., перераб. и доп. – Уфа: РИЦ УГНТУ, 2014. – 288 с.
16. Bertolini L., Lollini F., Redaelli E. Influence of concrete composition on parameters related to the durability of reinforced concrete structures / International RILEM Workshop on Integral Service Life Modelling of Concrete Structures. – Milan: RILEM, 2013. pp. 71–78.
17. Рояк Г.С. Предотвращение внутренней коррозии бетона при действии щелочей цемента на заполнители // Технологии бетонов. – 2012. – № 5–6. – С. 36–37.
18. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Способ определения реакций между щелочами и заполнителем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 2. – С. 21–23.
19. Ларионова З.М., Никитина Л.В., Гарашин В.Р. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона. – М.: Стройиздат, 1977. – 159 с.
20. Полак А.Ф., Бабков В.В., Андреева Е.П. Твердение минеральных вяжущих веществ. – Уфа: Башк. кн. изд-во, 1990. – 216 с.
21. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
22. Кузнецова Т.В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы. – М.: Стройиздат, 1986. – 208 с.



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛА ДАННОЙ СТАТЬИ
ПРОСИМ ДЕЛАТЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:**

Бадикова А.Д., Сидельников А.В., Ширяева Р.Н., Мазитова А.К., Сахибгареев С.Р., Латыпов В.М., Зайцева Л.Р., Абдульминев К.Г. Определение соединений кремния в составе заполнителей бетона из отходов производств // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 6. – С. 184–200. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-184-200.

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Badikova A.D., Sidelnikov A.V., Shiriaeva R.N., Mazitova A.K., Sakhibgareev S.R., Latypov V.M., Zaitseva L.R., Abdulminev K.G. Detection of silicon compounds in the composition of fillers of concrete from production waste. *Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 184–200. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-184-200. (In Russian).

