Экологические аспекты воздействия примесей в техногенном микрокремнеземе при его переработке

Поступила 27.02.2019 г. / Принята к публикации 25.03.2019 г.

© Мамченков Евгений Андреевич¹, Прокофьев Валерий Юрьевич¹, Кочетков Сергей Павлович²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Ивановский государственный химико-технологический университет», г. Иваново, Россия

² Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия

Аннотация. Исследован механизм ингибирующего воздействия примесей техногенного микрокремнезема на процесс растворения диоксида кремния. Актуальность работы обусловлена востребованностью жидкого стекла на предприятиях Центральной России и более низкой себестоимостью сырья, а именно, силиката натрия, по сравнению с аналогами. Утилизация отходов способствует решению проблем ресурсосбережения и рационального природопользования. Микрокремнезем исследован методом дифференциально-термического анализа на приборе TGA 2 в температурном интервале 20...800 °С со скоростью нагрева 20 °С/мин в атмосфере воздуха. Модификация микрокремнезема осуществлялась путем смешения с гидроксидом натрия концентрацией 15...25 % (по массе) при температуре 20...50 °С при перемешивании 600 об./мин. На основе полученных данных определен механизм образования побочных продуктов. Наибольший вклад в ингибирующее воздействие на процесс получения жидкого стекла вносят ионы алюминия. Образующийся побочный продукт, гидроалюмосиликат натрия образуется в несколько стадий и катализируется силикатом натрия. Уменьшение скорости массопереноса и температуры в процессе модификации микрокремнезема позволяет снизить количество получаемых побочных продуктов. В работе определен механизм ингибирования процесса растворения микрокремнезема, побочного продукта производства фторида алюминия. Предложен механизм образования побочных продуктов. Получена энергия активации образующегося в результате побочных реакций полимера. Найденное значение энергии активации, равное 7,73 кДж/моль свидетельствует о том, что процесс синтеза протекает в диффузной области. Определены оптимальные параметры физико-химической модификации. Микрокремнезем обрабатывается гидроксидом натрия концентрации 25 % при температуре 20 °С со скоростью 600 об./мин.

Ключевые слова. Микрокремнезем, жидкое стекло, побочные продукты, модификация.

Environmental aspects of impacts of the impurities in the industrial microsilica during its processing

Received on February 27, 2019 / Accepted on March 25, 2019

© Mamchenkov Evgenii Andreevich¹, Prokofev Valerii Iurevich¹, Kochetkov Sergei Pavlovich²

¹ Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology», Ivanovo, Russia

² Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia

Abstract. The mechanism of inhibitory effects of microsilica impurities on microsilica dissolution was discovered. The relevance of the work is due to the demand for liquid glass in the enterprises of Central Russia and the lower cost of raw materials, namely sodium silicate, compared with analogues. Waste disposal helps to solve the problems of resource conservation and environmental management. Microsilica was studied by differential thermal analysis using a TGA 2 in the temperature range of 20...800 °C with a heating rate of 20 °C/min in air. Modification of microsilica was carried out by mixing with sodium hydroxide with a concentration of 15...25 wt.% at a temperature 20...50 °C with stirring at 600 rpm. The mechanism of formation of byproducts with the basis of the obtained data was determined. The greatest contribution to the inhibitory effect on the process of producing liquid glass is made by aluminum ions. The resulting byproduct, hydroaluminum sodium is formed in several stages and is catalyzed by sodium silicate. The reduction in the rate of mass transfer and temperature in the modification process of the microsilica reduces the amount of produced byproducts. The mechanism of inhibition of the process of dissolution of microsilica, a byproduct of the production of aluminum fluoride,

was determined. The mechanism of the formation byproducts was proposed. The activation energy of the polymerization reaction was obtained. The value of the activation energy is 7.73 kJ/mol, indicates that the synthesis process takes place in the diffuse region. The optimal parameters of physical and chemical modification are determined. Microsilica is treated with sodium hydroxide with a concentration of 25 % at a temperature of 20 °C at a speed of 600 rpm.

Keywords. Microsilica, sodium silicate, byproducts, modification.

Введение. Фторид алюминия используется в качестве компонента электролита при получении алюминия [1]. Одним из побочных продуктов в процессе получения фторида алюминия является аморфный диоксид кремния с примесями фтористых солей. Образующийся отход не имеет одного общего названия [2] самые распространенные – кремнегель и микрокремнезем. По данным технологического регламента действующего производства, на 1 т производимого фторида алюминия по реакции (1) в промышленных условиях образуется 0,85...2,85 т гидратированного микрокремнезема с содержанием влаги до 60 % [2, 3]. На функционирующих в настоящее время российских заводах ежемесячно в отвалы направляется свыше 40 тыс. т данного продукта, который образуется по реакции:

Актуальность работы обусловлена востребованностью жидкого стекла на предприятиях Центральной России и более низкой себестоимостью сырья, а именно, силиката натрия, по сравнению с аналогами. Утилизация отходов способствует решению проблем ресурсосбережения и рационального природопользования.

Процессу утилизации микрокремнезема посвящено множество работ. С его использованием получены теплоизоляционно-конструкционные строительные материалы [4–11], силикатный ячеистый бетон [12], строительный раствор [13], гидросиликаты РЗЭ [14], пигменты [15], моющие средства [16]. Однако примесные компоненты ухудшают физико-химические свойства получаемых продуктов.

Одним из способов переработки микрокремнезема является получение растворимого силиката натрия. Высокая дисперсность микрокремнезема позволяет проводить процесс растворения при атмосферном давлении и температуре не

выше 105 °C без дополнительного измельчения. Однако наличие примесей фторид алюминия делает невозможным получение продукта, соответствующего нормативным документам [17].

В работах [18–20] представлены данные физико-химического анализа микрокремнезема, рассмотрены способы его модификации и определены оптимальные температурно-временные характеристики процесса получения растворимого силиката. Однако химические реакции с участием примесей, которые блокируют растворение диоксида кремния, не были изучены.

Таким образом, **цель работы** заключается в изучении механизма ингибирующего воздействия примесей техногенного микрокремнезема на процесс растворения диоксида кремния и на его основе определение оптимальных параметров модифицирования микрокремнезема с последующим получением жидкого стекла для нужд строительства.

Материалы и методы исследований. Дифференциально-термический анализ проводился на приборе TGA 2 в температурном интервале 20...800 °C со скоростью нагрева 20 °C/мин в атмосфере воздуха. Модификация микрокремнезема осуществлялась путем смешения с гидроксидом натрия концентрацией 15...25 % (по массе) при температуре 20...50 °C при перемешивании 600 об./мин. Синтез силиката натрия осуществлялся на установке с режимами T = 90...95 °C, τ = 10 мин. В работе использован микрокремнезем Череповецкого ЗАО «Амофос». Для определения массовой доли соединений алюминия в кремнегеле использован метод основанный на обратном комплексонометрическом титровании избытка трилона Б хлоридом цинка в присутствии индикатора ксилолового оранжевого.

Силикатный модуль устанавливался путем последовательного титрования раствором соляной кислоты полученного жидкого натриевого стекла и раствором

гидроксида натрия в присутствии смешанного кислотно-основного индикатора (0,2 % спиртового раствора метиленового красного и 0,1% спиртового раствора метиленового голубого). Выход жидкого стекла устанавливался путем определения отношения массы осадка после синтеза взвешенным с точностью до 0,0001 г к массе загрузки. Плотность жидкого стекла устанавливалась ареометром при температуре $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Результаты исследований и их обсуждение. Обобщение полученных данных позволяет заключить, что в результате взаимодействия гидроксида натрия с микрокремнеземом происходят следующие химические реакции:

Взаимодействие фторида алюминия с раствором щелочи по реакциям 2–4 ведет к образованию криолита и гидроксида алюминия, который взаимодействует с гидроксидом натрия образует алюминат натрия.

Образование растворимого метасиликата натрия по реакции 5 не значительно сказывается на процессе растворения диоксида кремния. Однако при наличии в растворе алюмината натрия он быстро переходит в малорастворимое соединение – гидроалюмосиликат натрия [22].

где h_{Al} – степень гидролиза ионов алюминия; h_{Si} – степень гидролиза ионов кремния.

В реакциях 6 и 7 происходит формирование силанольных функциональных групп путем гидролиза алюминат и силикат ионов.

По реакции 8 из промежуточных продуктов образуется алюмосиликат,

который затем поликонденсируется в гидроалюмосиликат натрия с общей формулой $(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \cdot \text{R} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, структура которого представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Структура гидроалюмосиликата натрия – побочного продукта производства жидкого стекла

Реакция полимеризации протекает более интенсивно в растворе силиката натрия. Таким образом, процесс синтеза жидкого стекла катализирует, процесс образования полимера [23].

Побочные реакции ведут к снижению pH раствора с 11,2 до 9,8, в результате чего, происходит снижение растворимости диоксида кремния и выпадения его в осадок. Поэтому важной задачей становится ингибирование процесса образования полимера, путем вывода из области реакции ионов алюминия.

В силу перечисленных выше факторов процесс синтеза жидкого стекла не возможен без предварительной модификации микрокремнезема. С целью определения факторов, влияющих на образование побочных продуктов, были проведены кинетические исследования процесса образования гидроалюмосиликата натрия.

Найденное значение энергии активации, равное 7,73 кДж/моль свидетельствует о том, что процесс синтеза протекает в диффузной области. Следовательно, уменьшение скорости массопереноса и температуры снижает количество получаемых побочных продуктов. Полученные данные позволяют заключить, что оптимальной температурой модификацией является 20°C .

С целью уточнения полученных данных был проведен сравнительный дериватографический анализ исходного

и модифицированного кремнегеля, представленный на рисунке 2 и 3.

Рис. 1. Дериватограмма исходного кремнегеля, высушенного при 105 °С

Рис. 2. Дериватограмма кремнегеля, прошедшего щелочную физико-химическую модификацию

Исходный кремнегель предварительно был высушен при температуре 105 °С для удаления сорбированной воды. Второй образец кремнегеля подвергся физико-химической модификации щелочным раствором концентрацией 25 % при температуре 20 °С в течение 10 минут. После предварительной подготовки оба образца подвергли дифференциально-термическому анализу в температурном интервале 20...800 °С со скоростью нагрева 20 °С/мин. в воздушной атмосфере.

Из данных, представленных на рисунке 2, следует, что основная потеря массы происходит при температуре 141,8 °С, характеризующийся снижением массы образца на 2,2 %, что составляет 0,13 мг. Полученные результаты можно объяснить процессом дегидратации

с выделением кристаллизационной воды тригидрата фторида алюминия по реакции (9):

Для уточнения полученных результатов были проведены расчеты для установления массовой доли фторида алюминия в кремнегеле. В результате проведенных аналитических исследований было установлено, что массовая доля фторида алюминия в кремнегеле составляет 5 % в перерасчете на оксид алюминия. После проведения ДТА исходного кремнегеля был произведен расчет энергии активации по методу Киссинджера [23]. Данный метод позволяет определить порядок реакции, используя форму кривой дериватограммы, т. е. позволяет выявить константу скорости реакции исследуя изменение массы образца. Результаты расчета приведены в таблице.

Кинетические параметры реакции дегидратации фторида алюминия

Кинетические параметры	
K, 1/с	E _{ак} , Дж/моль
10 ^{2,48}	43,9

Сущность метода сводится к линеаризации зависимости (10):

$$\frac{da}{d\tau} = K_0 e^{-E/RT} f(\alpha). \quad (10)$$

При помощи логарифмирования получаем уравнение (11):

$$\ln \left(\frac{da}{d\tau} \right) = \ln(K_0) - E/RT + n \cdot \ln(f(\alpha)). \quad (11)$$

или для уравнения n-го порядка реакции (12):

$$\ln \left(\frac{da}{d\tau} \right) = \ln(K_0) - E/RT + n \cdot \ln(1 - \alpha). \quad (12)$$

Графическим методом (рисунок 4) было установлено, что данная реакция относится к реакциям первого порядка. Уравнение для реакции первого порядка имеет вид (13):

$$\ln \frac{da/d\tau}{(1-\alpha)} = \ln(K_0) - E/RT. \quad (13)$$

В целом полученные результаты энергии активации свидетельствуют о протекании дегидратации фторида алюминия в области температур от 110 до 150 °С. На рисунке 3 представлена дериватограмма кремнегеля, прошедшего щелочную физико-химическую модификацию. Ярко выраженные эндотермические пики не наблюдаются ввиду отсутствия сорбиро-

ванной и кристаллизационной воды фторида алюминия. На основании полученных экспериментальных данных, разработана методика физико-химической модификации микрокремнезема.

Рис. 3. Зависимость $\lg C$ от времени термической обработки микрокремнезема

Микрокремнезем – побочный продукт производства фторида алюминия обрабатывается гидроксидом натрия концентрации 25 % при температуре 20 °С со скоростью 600 об./мин. В результате чего, SiO_2 и AlF_3 переходят в раствор, но из-за низкой температуры и массопереноса образование полимера не происходит. Модифицирующий раствор заполняет поры кремнегеля, что в дальнейшем ускоряет процесс синтеза жидкого стекла. Данный эффект обусловлен сокращением времени на выравнивание концентрации щелочи между порами кремнегеля и раствором, а также незначительным разбавлением раствора гидроксида натрия на этапе синтеза жидкого стекла.

Переведенный в раствор фторид алюминия выводится из области реакции, путем фильтрации. Щелочная физико-химическая модификация производится в 3 этапа.

Первый этап – предварительное насыщение кремнегеля водой до равновесной концентрации 55...60 % (по массе) и его фильтрация. Второй этап – смешение кремнегеля с модифицирующим раствором концентрацией 25 % (8,2 моль/л) в течение 10–12 минут. Третий этап – разделение твердой и жидкой фазы. Модифицирующий раствор отправляется на регенерацию, а модифицированный кремнегель используется для получения жидкого стекла.

После щелочной модификации кремнегеля в его порах находится гидроксид натрия в количестве, достаточном для получения жидкого стекла с силикатным модулем 2,8, что делает возможным его использования в качестве замены силикат глыбы. Введе-

ние дополнительного количества щелочи для синтеза не требуется.

Выводы

На основе полученных данных определен механизм образования побочных продуктов. Наибольший вклад в ингибирующее воздействие на процесс получения жидкого стекла вносят ионы алюминия. Образующийся побочный продукт, гидроалюмосиликат натрия образуется в несколько стадий и катализируется силикатом натрия. Уменьшение скорости массопереноса и температуры в процессе модификации микрокремнезема позволяет снизить количество получаемых побочных продуктов.

Показано, что оптимальной концентрацией гидроксида натрия в модифицирующем растворе составляет 25 %. Модифицированный микрокремнезем может быть использован в качестве замены силикат глыбы для получения жидкого стекла с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,41 г/см³.

Библиографический список

1. Раков Э.Г. Химия и технология неорганических фторидов. М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1990. 162 с.
2. Мурашкевич А.Н. Кремнийсодержащие продукты комплексной переработки фосфатного сырья Минск: БГТУ, 2002. 389 с.
3. Голубин А.К., Никонорова С.П., Сахнова Г.В. и др. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления М., 1999. 65 с.
4. Пат. 1052490 СССР. МПК С04В 11/09. Сырьевая смесь для изготовления конструктивно-теплоизоляционного материала [текст] / Воскресенская В.А., Выровой В.Н., Азарова С.Я. [и др.] заявл 10.01.82; опубл. 7.11.83 // Откр. изобр. 1983. № 41. С. 66.
5. Vaičiukynienė D., Kantautas A., Vaitkevičius V., Sasnauskas V. Using of Modified AlF_3 Production // Waste in Cement-Based Materials Materials Science. 2009. № 15 (3). P. 255-261.
6. Kubiliūtė R. The Pozzolan Activity of Calcined Clay – Silica Gel Composites // Materials Science. 2013. № 19. P. 453–460. DOI: 10.5755/j01.ms.19.4.2300
7. Vaičiukynienė D., Kantautas A., Vaitkevičius V., Sasnauskas V. Effect of AlF_3 Production Waste on the Properties

of Hardened Cement Paste // *Materials Science*. 2012. № 18. P. 187–191. DOI: 10.5755/j01.ms.18.2.1925

8. Vaičiukynienė D., Kantautas A., Vaitkevičius V. Mechanochemical treated technogenic silica gel additive in Portland cement based materials // *Conference: 18 Internationale Baustofftagung IBAUSIL*. 12–15 September 2012. Weimar, Germany, 2012. Vol. 1. P. 929–934.

9. Ilić M., Miletić S., Stefanović M. Air pollution protection by waste amorphous SiO₂ utilization in Portland cement production // *Toxicological & Environmental Chemistry*. 1999. № 69. P. 209–215.

10. Kawai K., Osako M. Reduction of natural resource consumption in cement production in Japan by waste utilization // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2012. № 14 (2). P. 94–101. DOI: 10.1007/s10163-012-0042-4

11. Vaičiukynienė D., Vaitkevičius V., Kantautas A., Sasnauskas V. Utilization of By-Product Waste Silica in Concrete-Based Materials // *Materials Research*. 2012. № 15(4). P. 561–567. DOI: 10.1590/S1516-14392012005000082

12. Пат. 958381 СССР, МПК: C04B 13/12. Шихта для изготовления силикатных изделий [текст] / Яницкас А.Ю., Жилинскас Р., Гармута А.К.; № 3225249/29-33; заявл. 22.12.80; опубл. 15.09.82; бюл. № 34 // *Откр. изобр.* 1982. № 34. С. 111.

13. Пат. 975643 СССР МПК: C04B 13/24. Строительный раствор [Текст] / Сытник Н.И., Андрианова Г.С., Файнер М.Ш., Ляшенко Т.В.; № 3286763/29-33; заявл. 24.04.81; опубл. 23.11.82; бюл. № 43 // *Откр. изобр.* 1982. № 43 С. 123.

14. Bocullo V., Vaičiukynienė D., Kantautas A., Borg R., Briguglio C. Alkaline Activation of Hybrid Cements Binders Based on Industrial by-Products // *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*. 2017. V.19. pp. 65–73 DOI: 10.5755/j01.sace.19.2.17836

15. Pishch V., Podbolotov K.B., Maslennikova G.N., Karizna Yu.A., Belyakov I.V. Silica based pigments // *Glass and Ceramic*. 2011. № 68 (3–4). pp. 71–75.

16. Акаев О.П., Мамченков Е.А., Свиридов А.В. Моющие средства на основе жидкого стекла, полученного из

кремнегеля // *Химическая технология*. 2014. Т. 15. № 11. С. 680–682.

17. ГОСТ 13078-81. Стекло натриевое жидкое. Технические условия [Текст]. Взамен ГОСТ 13078-67; введ. 29.04.81. М.: Издательство стандартов, 1989. 22 с.

18. Мамченков Е.А., Цветкова А.Д., Взорек Збигнев, Акаев О.П. Физико-химические характеристики диоксида кремния – побочного продукта производства фторида алюминия // *Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова: Кострома*. 2013. № 6. С. 7–11.

19. Свиридов А.В., Мамченков Е.А., Акаев О.П. Синтез жидкого стекла из микрокремнезема, очищенного жидким отходом регенерации катионита // *Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова: Кострома*. – 2013. № 6. С. 17–20.

20. Мамченков Е.А., Акаев О.П., Акаева Т.К. Исследование температурно-временных характеристик взаимодействия модифицированного кремнегеля с гидроксидом натрия // *Химия в интересах устойчивого развития Издательство Сибирского отделения РАН*. 2015. Т. 23. № 1. С. 97–102.

21. Еремин Н.И., Наумчик А.Н., Казаков В.Г. // *Процессы и аппараты глиноземного производства*. М., *Металлургия*. 1980. 360 с.

22. Weng L., Sagoe-Crentsil K. Dissolution processes, hydrolysis and condensation reactions during geopolymer synthesis: Part I – Low Si/Al ratio systems // *Journal Material Science*. 2007. 42. pp. 2997–3006 DOI: 10.1007/s10853-006-0820-2

23. Kissinger, H.E. (1957), Reaction kinetics in differential thermal analysis // *Analytical Chemistry*. 1957. № 11. pp. 1702–1706.

References in roman script

1. Rakov E.G. Himiya i tekhnologiya neorganicheskikh ftoridov. M.: MHTI im. D.I. Mendeleeva, 1990. 162 s.

2. Murashkevich A.N. Kremnijsoderzhashchie produkty kompleksnoj pererabotki fosfatnogo syr'ya Minsk: BGTU, 2002. 389 s.

3. Golubin A.K., Nikonorova S.P., Sahnova G.V. i dr. Sbornik udel'nyh pokazatelej obrazovaniya othodov proizvodstva i potrebleniya M., 1999. 65 s.

4. Pat. 1052490 SSSR. MPK SO4V 11/09. Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya konstruktivno-teploizolyacionnogo materiala [tekst] / Voskresenskaya V.A., Vyrovoy V.N., Azarova S.YA. [i dr.] zayavl 10.01.82; opubl. 7.11.83 // Otkr. izobr. 1983. № 41. S. 66.
5. Vaičiukynienė D., Kantautas A., Vaitkevičius V., Sasnauskas V. Using of Modified AlF₃ Production // Waste in Cement-Based Materials Materials Science. 2009. № 15 (3). R. 255-261.
6. Kubiliūtė R. The Pozzolan Activity of Calcined Clay – Silica Gel Composites // Materials Science. 2013. № 19. R. 453–460. DOI: 10.5755/j01.ms.19.4.2300
7. Vaičiukynienė D., Kantautas A., Vaitkevičius V., Sasnauskas V. Effect of AlF₃ Production Waste on the Properties of Hardened Cement Paste // Materials Science. 2012. № 18. R. 187–191. DOI: 10.5755/j01.ms.18.2.1925
8. Vaičiukynienė D., Kantautas A., Vaitkevičius V. Mechanochemical treated technogenic silica gel additive in Portland cement based materials // Conference: 18 Internationale Baustofftagung IBAUSIL. 12–15 September 2012. Weimar, Germany, 2012. Vol. 1. R. 929–934.
9. Плиг М., Милетич С., Стефанович М. Air pollution protection by waste amorphous SiO₂ utilization in Portland cement production // Toxicological & Environmental Chemistry. 1999. № 69. R. 209–215.
10. Kawai K., Osako M. Reduction of natural resource consumption in cement production in Japan by waste utilization // Journal of Material Cycles and Waste Management. 2012. № 14 (2). R. 94–101. DOI: 10.1007/s10163-012-0042-4
11. Vaičiukynienė D., Vaitkevičius V., Kantautas A., Sasnauskas V. Utilization of By-Product Waste Silica in Concrete-Based Materials // Materials Research. 2012. № 15(4). R. 561–567. DOI: 10.1590/S1516-14392012005000082
12. Pat. 958381 SSSR, MPK: SO4V 13/12. SHihta dlya izgotovleniya silikatnyh izdelij [tekst] / Yanickas A.YU., ZHilinskas R., Garmuta A.K.; № 3225249/29-33; zayavl. 22.12.80 ; opubl. 15.09.82 ; byul. № 34 // Otkr. izobr. 1982. № 34. S. 111.
13. Pat. 975643 SSSR MPK: SO4V 13/24. Stroitel'nyj rastvor [Tekst] / Sytnik N.I., Andrianova G.S., Fajner M.SH., Lyashenko T.V.; № 3286763/29-33; zayavl. 24.04.81; opubl. 23.11.82; byul. № 43 // Otkr. izobr. 1982. № 43 S. 123.
14. Bocullo V., Vaičiukynienė D., Kantautas A., Borg R., Briguglio C. Alkaline Activation of Hybrid Cements Binders Based on Industrial by-Products // Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering. 2017. V.19. pp. 65-73 DOI: 10.5755/j01.sace.19.2.17836
15. Pishch V., Podbolotov K.B., Maslennikova G.N., Karizna Yu.A., Belyakovich I.V. Silica based pigments // Glass and Ceramic. 2011. № 68 (3–4). pp. 71–75.
16. Akaev O.P., Mamchenkov E.A., Sviridov A.V. Moyushchie sredstva na osnove zhidkogo stekla, poluchennogo iz kremnegelya // Himicheskaya tekhnologiya. 2014. T. 15. № 11. S. 680-682.
17. GOST 13078-81. Steklo natrievoe zhidkoe. Tekhnicheskie usloviya [Tekst]. Vzamen GOST 13078-67; vved. 29.04.81. M.: Izdatel'stvo standartov, 1989. 22 s.
18. Mamchenkov E.A., Cvetkova A.D., Vzorek Zbigne, Akaev O.P. Fiziko-himicheskie harakteristiki dioksida kremniya – pobochnogo produkta proizvodstva ftorida alyuminiya // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova: Kostroma. 2013. № 6. S. 7-11.
19. Sviridov A.V., Mamchenkov E.A., Akaev O.P. Sintez zhidkogo stekla iz mikrokremnezema, ochishchennogo zhidkim othodom regeneracii kationita // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova: Kostroma. – 2013. № 6. S. 17-20.
20. Mamchenkov E.A., Akaev O.P., Akaeva T.K. Issledovanie temperaturno-vremennyh harakteristik vzaimodejstviya modifitsirovannogo kremnegelya s gidroksidom natriya // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya Izdatel'stvo Sibirskogo otdeleniya RAN. 2015. T. 23. № 1. S. 97-102.
21. Eremin N.I., Naumchik A.N., Kazakov V.G. // Processy i apparaty glinozemnogo proizvodstva. M., Metallurgiya. 1980. 360 s.
22. Weng L., Sagoe-Crentsil K. Dissolution processes, hydrolysis and condensation reactions during geopolymer synthesis: Part I – Low Si/Al ratio systems // Journal Material Science. 2007.

42. pp. 2997-3006 DOI: 10.1007/s10853-006-0820-2

23. Kissinger, H.E. (1957), Reaction kinetics in differential thermal analysis // Analyti. Chem. 1957. № 11. pp. 1702–1706.

Дополнительная информация

Сведения об авторах:

Мамченков Евгений Андреевич, аспирант; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»; 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.

Прокофьев Валерий Юрьевич, доктор технических наук, профессор кафедры Технологии неорганических веществ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»; 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7; email: valery.prokofev@gmail.com.

Кочетков Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры; Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д.408.

В этой статье под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International License, которая разрешает копирование, распространение, воспроизведение, исполнение и переработку материалов статей на любом носителе или формате при условии указания автора(ов) произведения, защищенного лицензией Creative Commons, и указанием, если в оригинальный материал были внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иные условия не распространяются на указанный материал. Если материал не включен в лицензию Creative Commons, и Ваше предполагаемое использование не разрешено законодательством Вашей страны или превышает разрешенное использование, Вам необходимо получить разрешение непосредственно от владельца(ев) авторских прав.

Для цитирования: Мамченков Е.А., Прокофьев В.Ю., Кочетков С.П. Экологические аспекты воздействия примесей в техногенном микрокремнеземе при его переработке // Экология и строительство. 2019. № 1. С. 4–11. doi: [10.35688/2413-8452-2019-01-001](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-01-001).

Additional Information

Information about the authors:

Mamchenkov Evgenii Andreevich, PhD student; Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»; 7, Sheremetievskiy Avenue, Ivanovo, 153000, Russia; e-mail grish.in.03.97@gmail.com.

Prokofev Valerii Iurevich, doctor of technical sciences, professor of the Technology of inorganic substances department; Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»; 7, Sheremetievskiy Avenue, Ivanovo, 153000, Russia; email: valery.prokofev@gmail.com.

Kochetkov Sergei Pavlovich, doctor of technical sciences, professor; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrskoy revolyutsii, 408.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

For citations: Mamchenkov E.A., Prokofev V.IU., Kochetkov S.P. Environmental aspects of impacts of the impurities in the industrial microsilica during its processing // Ekologiya i stroitelstvo. 2019. № 1. P. 4–11. doi: [10.35688/2413-8452-2019-01-001](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-01-001).