

Изучение фазовых превращений в процессе твердофазного синтеза диопсида на основе золы рисовой шелухи

Илья Д. Твердов	1	idtverdov@gmail.com	 0000-0002-7524-3088
Екатерина С. Ямалеева	2	curls888@yandex.ru	 0000-0002-5754-205X
Елена М. Готлиб	2	egotlib@yandex.ru	 0000-0003-2318-7333
Кирилл В. Холин	2	KholinKV@corp.knrtu.ru	 0000-0003-2551-5505
Тимур П. Султанов	2	sultanovtp05@mail.ru	 0009-0005-1298-2245

1 АНО ВО «Университет Иннополиса», Университетская, 1, г. Казань, 420500, Россия
2 Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия

Аннотация. Для оптимизации процесса синтеза диопсида необходимо изучить фазовые превращения, происходящие в результате взаимодействия золы рисовой шелухи и доломита на разных стадиях обжига. *Цель.* Изучение фазовых превращений в процессе твердофазного синтеза диопсида для обеспечения его максимального выхода. *Методы.* Комплексный дифференциально-термический анализ (ДТА), рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА). *Результаты.* Методом ДТА обнаружено, что на ДТА-кривой в области 621–761 °С фиксируется эндотермический эффект, с максимумом при температуре 740 °С, связанный с распадом кальций-магниевого карбоната (доломита) и образованием оксидов кальция и магния, с выделением углекислого газа. Два экзотермических эффекта наблюдаются в интервалах температур 982–1281 °С и 1281–1345 °С, с соответствующими максимумами при 1152 и 1301 °С, характерными для превращения оксидов кальция, магния и кремния в кальций-магний-силикат – диопсид. Методом РКФА показано, что действительно при обжиге исходных компонентов при 1000 °С образуется в основном фаза монтичеллита, остается некоторое количество не прореагировавшего оксида кремния, и начинается процесс формирования диопсида и акерманита. При повышении температуры обжига от 1100 до 1150 °С (первый экзотермический пик на ДТА-кривой) происходит не только перекристаллизация монтичеллита в диопсид, но и выделение форстерита, как отдельной фазы. Температура обжига исходных компонентов при 1300 °С (второй экзотермический пик на ДТА-кривой), соответствует окончательному переходу всех силикатов в диопсид. *Выводы.* Процесс синтеза диопсида из золы рисовой шелухи и доломита проходит через стадии распада доломита с образованием оксидов кальция и магния, затем появления фазы монтичеллита, потом выделения форстерита в виде отдельной фазы. При температуре 1300 °С окончательно происходит переход всех ранее образованных силикатов в диопсид.

Ключевые слова: зола, рисовая шелуха, доломит, фазообразование, твердофазный синтез, диопсид.

Study of phase transformations in the process of solid-phase synthesis of diopside based on rice husk ash

Ilya D. Tverdov	1	idtverdov@gmail.com	 0000-0002-7524-3088
Ekaterina S. Yamaleeva	2	curls888@yandex.ru	 0000-0002-5754-205X
Elena M. Gotlib	2	egotlib@yandex.ru	 0000-0003-2318-7333
Kirill V. Kholin	2	KholinKV@corp.knrtu.ru	 0000-0003-2551-5505
Timur P. Sultanov	2	sultanovtp05@mail.ru	 0009-0005-1298-2245

1 Innopolis University, Kazan, Universitetskaya, 1, Kazan, 420500, Russia
2 Kazan National Research Technological University, Karl Marx, 68, Kazan, 420015, Russia

Abstract. To optimize the diopside synthesis process, it is necessary to study the phase transformations that occur as a result of the interaction of rice husk ash and dolomite at different stages of firing. *Target.* Study of phase transformations in the process of solid-phase synthesis of diopside to ensure its maximum yield. *Methods.* Complex differential thermal analysis (DTA), X-ray quantitative phase analysis (XQFA). *Results.* Using the DTA method, it was discovered that the DTA curve in the region of 621–761 °C shows an endothermic effect, with a maximum at a temperature of 740°C, associated with the decomposition of calcium-magnesium carbonate (dolomite) and the formation of calcium and magnesium oxides, with the release of carbon dioxide. Two exothermic effects are observed in the temperature ranges 982–1281°C and 1281–1345 °C, with corresponding maxima at 1152 and 1301 °C, characteristic of the transformation of calcium, magnesium and silicon oxides into calcium-magnesium silicate - diopside. The XRD method has shown that, indeed, when the initial components are fired at 1000 °C, the monticellite phase is mainly formed, a certain amount of unreacted silicon oxide remains, and the process of formation of diopside and ackermanite begins. When the firing temperature increases from 1100 to 1150 °C (the first exothermic peak on the DTA curve), not only the recrystallization of monticellite into diopside occurs, but also the separation of forsterite as a separate phase. The firing temperature of the initial components at 1300 °C (the second exothermic peak on the DTA curve) corresponds to the final transition of all silicates to diopside. *Conclusions.* The process of synthesis of diopside from rice husk ash and dolomite goes through the stages of dolomite decomposition with the formation of calcium and magnesium oxides, then the appearance of the monticellite phase, then the separation of forsterite as a separate phase. At a temperature of 1300°C, all previously formed silicates finally transform into diopside.

Keywords: ash, rice husk, dolomite, phase formation, solid-phase synthesis, diopside.

Для цитирования	For citation
Твердов И.Д., Ямалеева Е.С., Готлиб Е.М., Холин К.В., Султанов Т.П. Изучение фазовых превращений в процессе твердофазного синтеза диопсида на основе золы рисовой шелухи // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 277–283. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-277-283	Tverdov I.D., Yamaleeva E.S., Gotlib E.M., Kholin K.V., Sultanov T.P. Study of phase transformations in the process of solid-phase synthesis of diopside based on rice husk ash. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 277–283. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-277-283

Введение

Для оптимизации процесса синтеза диопсида необходимо изучить фазовые превращения, происходящие в результате взаимодействия золы рисовой шелухи и доломита на разных стадиях обжига. Это важно, так как температура обжига определяет скорость спекания компонентов и выход диопсида, которые можно направленно регулировать также изменением состава исходного сырья и выбором типа и количества плавня [1, 2].

Механизмы синтеза диопсида из разных видов сырья изучены недостаточно. Поэтому исследование процессов фазообразования при получении этого продукта из золы рисовой шелухи и доломита является актуальным, так как эти данные в литературе практически отсутствуют.

Скорость твердофазной реакции лимитируется двумя факторами: на начальных этапах процесса она определяется скоростью химического взаимодействия компонентов, которая зависит от дисперсности сырьевых материалов и степени их перемешивания. На следующей стадии преобладающей становится роль скорости диффузии, которая усиливается по мере роста толщины слоя получаемых продуктов [3–6].

Материалы и методы

Диопсид синтезировали твердофазным методом на основе золы [7], полученной сжиганием рисовой шелухи в муфельной печи при температуре 500 °С в течение 3 часов, и доломита (ГОСТ 23672–2020).

Рентгенографический количественный фазовый анализ синтезированных образцов диопсида проводился на дифрактометре многофункционального типа Rigaku SmartLab при следующих параметрах – угловой интервал 3–65°, шаг сканирования 0,02.

Комплексный дифференциальный термический анализ (ТГ-ДТГ, ДТА) осуществлялся на синхронном термоанализаторе SDT Q600 в интервале температур $T = 20\text{--}1400$ °С в среде воздуха, со скоростью нагрева 10 °С /мин.

Результаты и обсуждение

Теоретическое уравнение реакции (1) синтеза диопсида $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ выглядит [8] следующим образом:



где $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – это доломит, SiO_2 – это диоксид кремния из золы рисовой шелухи.

В реальных условиях твердофазного синтеза реакция протекает ступенчато, а формулу $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ имеет целый ряд минеральных компонентов, которые могут быть получены в ходе синтеза.

Для оценки хода реакции исходную смесь компонентов проанализировали методом термогравиметрии и дифференциального термического анализа.

На графике (рисунок 1) наблюдаются экзо- и эндо – эффекты, связанные с фазовыми переходами. На термогравиметрической кривой между температурами 621 и 761 °С наблюдается значительная потеря массы, которая составляет 27,02%.

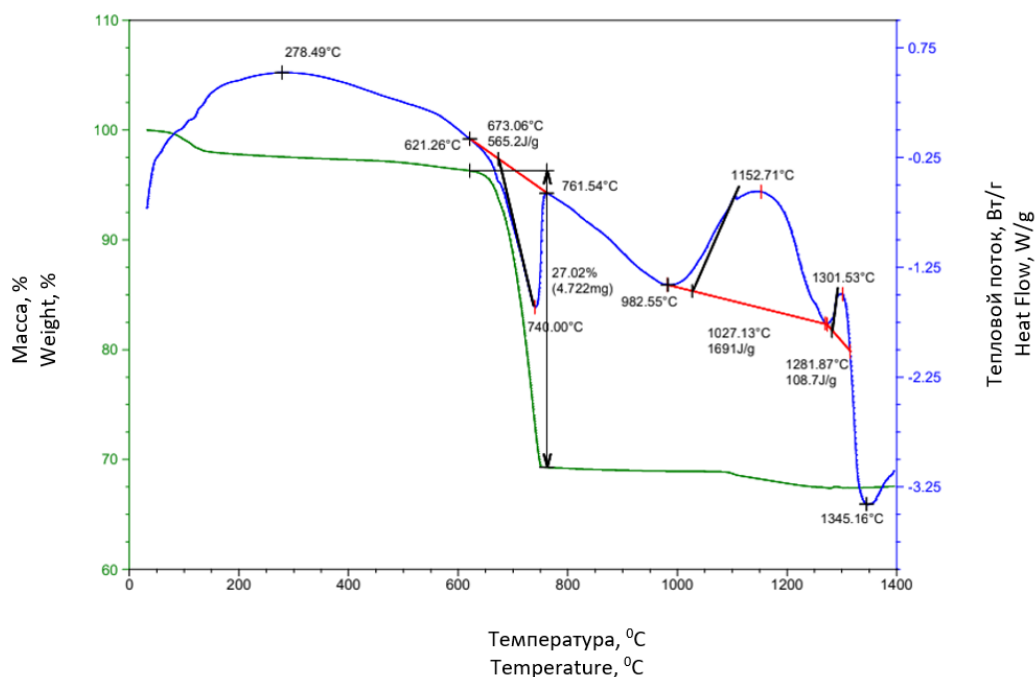
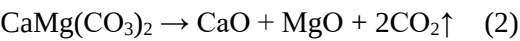


Рисунок 1. Результаты комплексного дифференциально-термического анализа

Figure 1. Results of complex differential thermal analysis

В данном температурном интервале на ДТА-кривой фиксируется эндотермический эффект, с максимумом при температуре 740 °С. Данный эффект характеризует первую стадию реакции, а именно – распад кальций-магниевого карбоната (доломита), в связи с чем и происходит потеря массы: из-за выделения углекислого газа (2) [9].



Далее, на ДТА-кривой в интервале от 982 °С до 1281 °С фиксируется широкий экзотермический эффект с двумя максимумами при температурах 1152 °С и примерно при 1110 °С. С повышением температуры до 1345 °С регистрируется узкий экзотермический эффект с максимумом 1301 °С.

Именно в этих температурных интервалах происходят превращения оксидов кальция, магния и кремния в кальций-магниевый силикат [10]. Наиболее интересными здесь являются следующие температурные точки: 1000 °С – начало синтеза; 1150 °С – максимум эффекта и 1300 °С – окончательный этап.

Можно было бы рассмотреть на последнем этапе две точки – 1280 °С и 1300 °С, но при столь высоких температурах разницу в 20 °С будет достаточно тяжело зафиксировать, и даже если провести отдельный обжиг, переход всё равно случится в момент остывания пробы, которая будет ещё иметь остаточную температуру.

Также интерес вызывает ярко выраженный экзо эффект при 1110 °С [11].

Для более детального рассмотрения реакции золы рисовой шелухи и доломита в области этих температурных эффектов, был проведён обжиг их исходной смеси при данных температурах, а затем полученные образцы были изучены методом рентгенографического количественного фазового анализа (РКФА) (рисунки 2–4, таблица 1).

Результаты РКФА позволяют смоделировать процесс синтеза из оксидов кальция, магния и кремния кальций-магниевых силикатов.

Как следует из данных рисунок 2 и таблица 1, на первом этапе (при 1000⁰С) образуется фаза монтichelита (3).

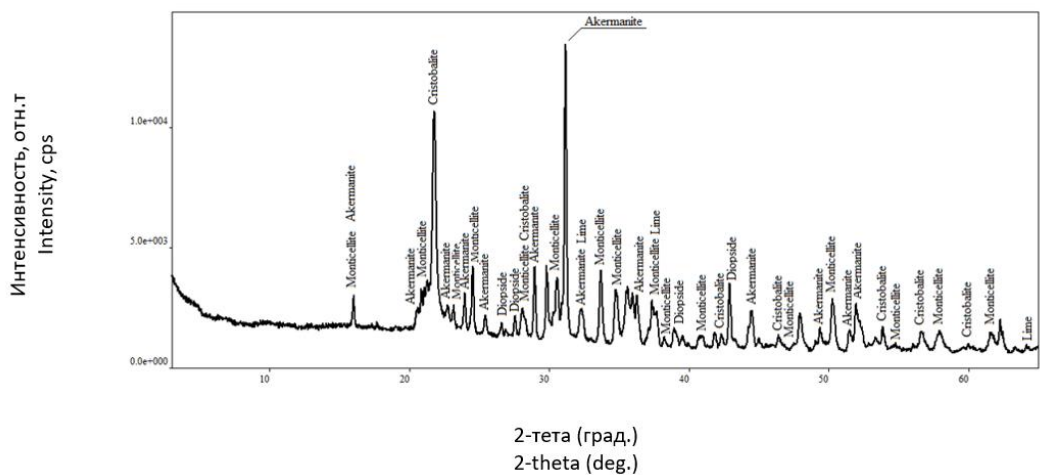
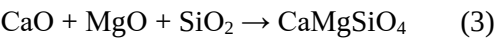


Рисунок 2. Дифрактограмма образца, обожжённого при 1000 °С

Figure 2. X-ray diffraction pattern of a sample fired at 1000 °С

Таблица 1.

Результаты рентгенофазового анализа

Table 1.

Results of X-ray phase analysis				
Температура обжига	Firing temperature	Фазовый состав		Phase composition
1000 °С		Монтичели	Monticellite	69
		Диопсид	Diopside	17
		Акерманит	Akermanite	10
		Кристаллит	Cristobalite	4
		Лайм	Lime	<1
1110 °С		Акерманит	Akermanite	43
		Диопсид	Diopside	37
		Форстерит	Forsterite	14
		Кристаллит	Cristobalite	6
1150 °С		Диопсид	Diopside	40
		Акерманит	Akermanite	37
		Форстерит	Forsterite	15
		Кристаллит	Cristobalite	8
1300 °С		Диопсид	Diopside	99
		Оливин и Волластонит	Olivine and Wollastonite	1

Так же остается некоторое количество не прореагировавшего оксида кремния, и начинается процесс формирования диопсида и акерманит [12]. Этот результат подтверждает то, что температура 1000 °С является промежуточной, и окончательный синтез диопсида проходит при более высоких температурах.

Далее рассмотрен обжиг при температуре 1100 °С (рисунок 3), при которой на ДТА кривых имеется небольшой экзотический эффект (рисунок 1).

При повышении температуры происходит не только перекристаллизация монтichelлит в диопсид, но и выделение форстерита (Mg_2SiO_4) как отдельной фазы (4). Возможно, именно возникновение форстерита и вызвало этот эффект.

CaMgSiO_4 (Монтichelлит) $\rightarrow$ $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ (Диопсид) + $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ (Акерманит) + Mg_2SiO_4 (Форстерит) (4)

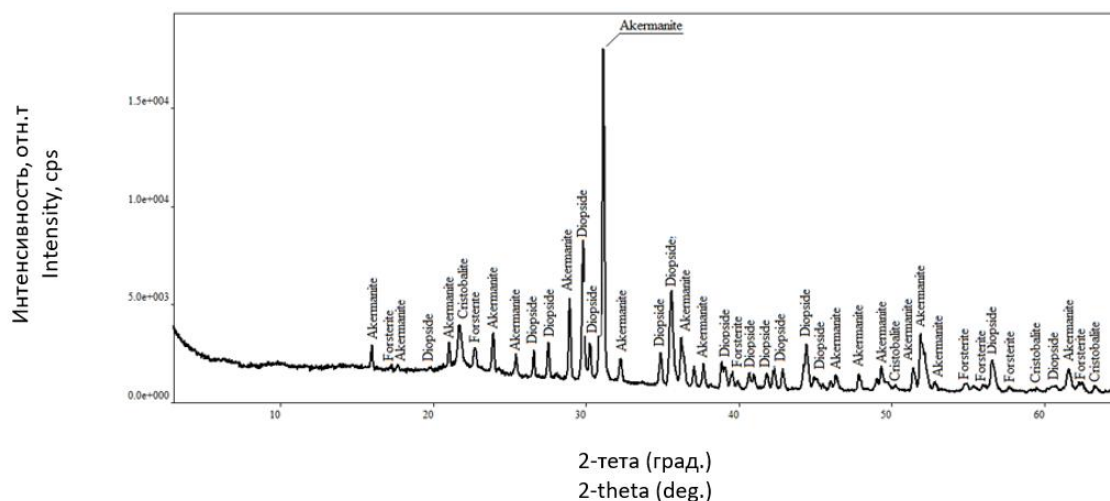


Рисунок 3. Дифрактограмма образца, обожжённого при 1100 °С.

Figure 3. X-ray diffraction pattern of a sample fired at 1100 °C

На максимуме этого эффекта (1150 °С) наблюдается примерно равное содержание диопсида и акерманита (таблица 1). Содержание

кристобаллита остаётся практически прежним, то есть он не вступает в дальнейшую реакцию (рисунок 4).

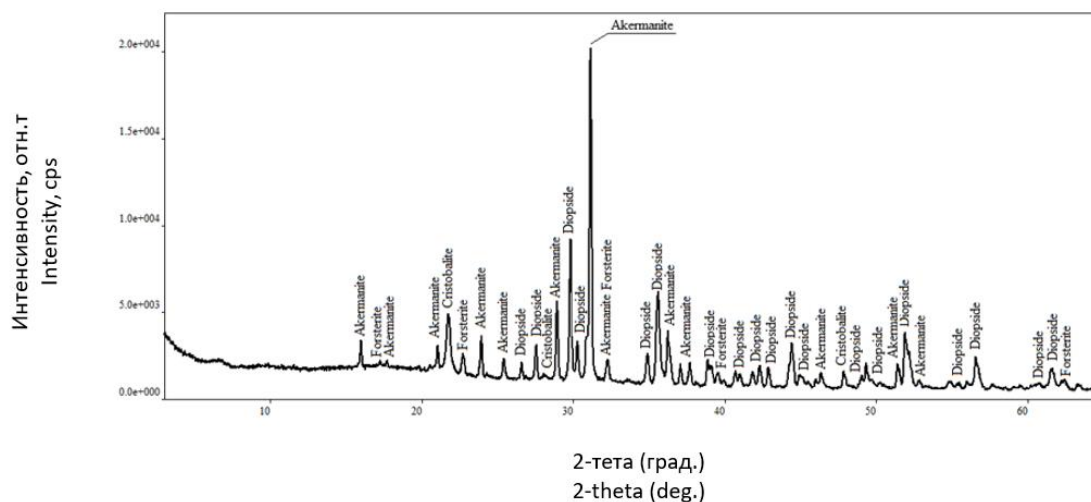


Рисунок 4. Дифрактограмма образца, обожжённого при 1150 °С.

Figure 4. X-ray diffraction pattern of a sample fired at 1150 °C

При температуре 1300 °С (рисунок 5) окончательно происходит переход всех силикатов [13] в диопсид (5), а также расходуется не использованный ранее кристобаллит. Остаточными сопутствующими продуктами волластонитом и оливином

можно пренебречь, так как их суммарное содержание составляет всего 1% (таблица 1).

$\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ (Диопсид) + $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ (Акерманит) + Mg_2SiO_4 (Форстерит) + SiO_2 (кристобаллит) $\rightarrow$ $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ (Диопсид) (5)

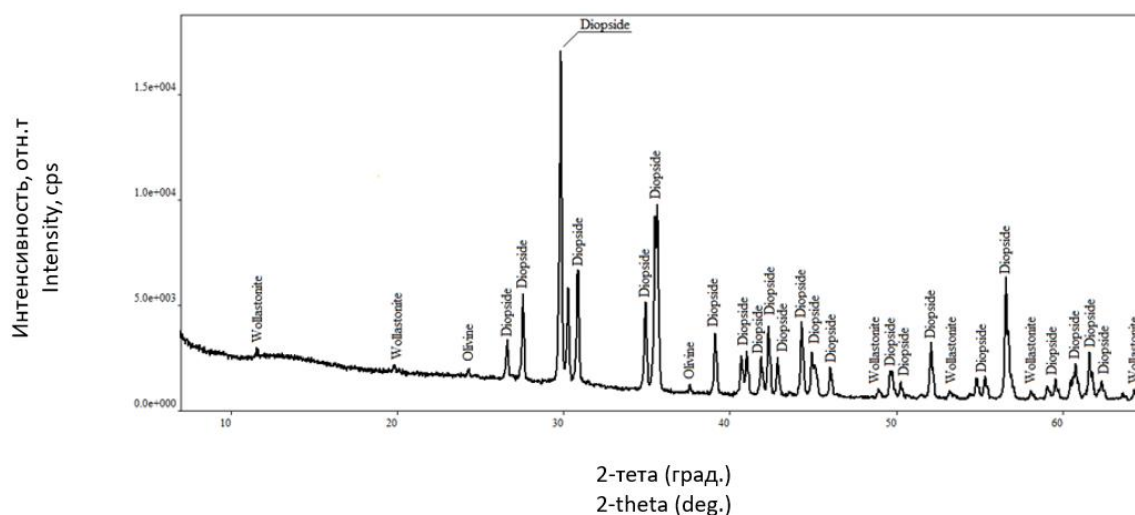


Рисунок 5. Дифрактограмма образца, обожжённого при 1300 °С.

Figure 5. X-ray diffraction pattern of a sample fired at 1300 °C

Так как уже на первом этапе при 1000 °С мы видим образование диопсида, в целях обеспечения энергоэффективности твердофазного синтеза, считаем, что реакцию золы рисовой шелухи [14] и доломита оптимально проводить при 1100 °С. Однако, при этом, необходима достаточно большая временная выдержка, которая составляет 3 часа, и использовании плавня (борной кислоты) [15, 16]. В результате достигается [17–20] высокий выход целевого продукта – диопсида (свыше 95%).

Заключение

Процесс синтеза диопсида из золы рисовой шелухи и доломита проходит через стадии распада кальций-магниевого карбоната с образованием оксидов кальция и магния, затем появления фазы монтичелита, потом выделения форстерита в виде отдельной фазы. При температуре 1300 °С окончательно происходит переход всех ранее образованных силикатов в диопсид. Для снижения этой температуры получения данного продукта предлагается использование плавня.

Литература

- 1 Верещагин В.И., Могилевская Н.В., Сафонова Т.В. Спекание и прочность стеновой керамики и фаянса из композиций глинистого и диопсидсодержащего сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т.21. № 6. С. 122–133.
- 2 Меньшикова В.К., Демина Л.Н. Керамические строительные материалы с использованием нетрадиционного вида сырья // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 3. С. 40–46.
- 3 Сагун А.И. Фазообразование при синтезе диопсида из природного сырья // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы Международной конференции молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера. Томск, 2020. С. 122–123.
- 4 Лохова Н.А., Цинделиани М.И. Фазообразование в золякремнеземистом керамическом материале // Системы. Методы. Технологии. 2013. Т. 17. № 1. С. 81–85.
- 5 López-Cuevas J., López-Badillo C.M., Méndez-Nonell J. Synthesis and phase evolution of a glass-ceramic biomaterial with near-eutectic composition of the pseudo-binary system diopside–tricalcium phosphate // Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 2021. V. 60. №. 2. P. 74–82. doi: 10.1016/j.bsecv.2020.01.008
- 6 Srinath P.A., Azeem P.V., Reddy K., Chiranjeevi P.B. et al. A novel cost-effective approach to fabricate diopside bioceramics // Advanced powder technology. 2021. V. 32. P. 875–884. doi: 10.1016/j.appt.2021.01.038
- 7 Готлиб Е.М., Твердов И.Д., Ха Т.Н.Ф., Ямалеева Е.С. Волластонит и диопсид, содержащие наполнители эпоксидных материалов на основе сельскохозяйственных и техногенных отходов // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25. № 8. С. 164–173.
- 8 Твердов И.Д., Готлиб Е.М., Нцуму Р.Ш., Ямалеева Е.С. Диопсид как наполнитель эпоксидных полимеров // Южно-сибирский научный вестник. 2023. № 4. С. 11–15.
- 9 Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M., Yordanov S., Toncheva K. Synthesis, phase composition and microstructure of colored ceramic materials based on diopside // Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations. 2020. V.6. №. 3. P. 77–79.
- 10 Titorenkova A., Kostov-Kytin V., Dimitrov Ts. Synthesis, phase composition and characterization of Co-diopside ceramic pigments // Ceramic international. 2022. V.48. №. 24. P. 36781–36788. doi: 10.1016/j.ceramint.2022.08.242
- 11 Zadehnajar P., Hussein M., Fiocco L., Colombo P. Recent advances on akermanite calcium-silicate ceramic for biomedical applications // Applied ceramics technology. 2021. V. 18. №. 6. P. 1901–1920. doi: 10.1111/ijac.13814
- 12 Arastouei M., Khodaei M., Mohammad Atyabi S., Nodoushan M.J. Improving the Properties of the Porous Polylactic Acid Scaffold by Akermanite Nanoparticles for Bone Tissue Engineering // Journal of Advanced Materials and Processing. 2020. V. 8. №. 2. P. 11–19.

- 13 Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M., Yordanov S., Toncheva K. Non-Equilibrium Phase Transformations // *Materials Science*. 2022. V. 6. №. 3. P. 77–79. doi: 10.1016/j.physa.2006.04.007
- 14 Nayak P., Kumar S., Bera J. Sol–gel synthesis of bioglass-ceramics using rice husk ash as a source of silica and its characterization // *Journal of non-crystalline solids*. 2010. V. 356. №. 28–30. P. 1447–1451. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2010.04.041
- 15 Si V., Li S. Crystallization kinetics of diopside glass ceramics // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. P. 1676. doi: 10.1088/1742-6596/1676/1/012150
- 16 Otto K., Wisniewski W., Rüssel C. Growth mechanisms of surface crystallized diopside // *CrystEngComm*. 2013. V. 15. №. 32. P. 6389–6394.
- 17 Готлиб Е.М., Ямалеева Е.С., Твердов И.Д., Мишагин К.А. и др. Применение рисовой шелухи как сырья для получения волластонит- и диопсидсодержащих наполнителей // *Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Киров, 2023. С. 418–421.
- 18 Пат. № 2801146, RU, C04B 35/20, C01B 33/24. Способ получения диопсида / Твердов И.Д., Галимов Э.Р., Готлиб Е.М., Ямалеева Е.С. № 2022131067; Заявл. 29.11.2022; Опубл. 02.08.2023, Бюл. № 22.
- 19 Sobhani A., Salimi E. Low temperature preparation of diopside nanoparticles: in-vitro bioactivity and drug loading evaluation // *Scientific Reports*. 2023. V. 13. doi: 10.1038/s41598-023-43671-0
- 20 Nicoara A.I., Alecu A.E., Balaceanu G-C, Puscasu E.M. et al. Fabrication and Characterization of Porous Diopside/Akermanite Ceramics with Prospective Tissue Engineering Applications // *Materials*. 2023. V. 16. №. 16. P. 5548. doi: 10.3390/ma16165548

References

- 1 Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Safonova T.V. Sintering and strength of wall ceramics and faience from compositions of clay and diopside-containing raw materials. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2019. vol. 21. no. 6. pp. 122–133. (in Russian).
- 2 Menshikova V.K., Demina L.N. Ceramic building materials using non-traditional raw materials. *Construction materials and products*. 2020. vol. 3. no. 3. pp. 40–46. (in Russian).
- 3 Sagun A.I. Phase formation during the synthesis of diopside from natural raw materials. *Chemistry and chemical technology in the XXI century: materials of the International Conference of Young Scientists named after Professor L.P. Kuleva and N.M. Kizhner*. Tomsk, 2020. pp. 122–123. (in Russian).
- 4 Lokhova N.A., Tsindeliani M.I. Phase formation in ash-silica ceramic material. *Systems. Methods. Technologies*. 2013. vol. 17. no. 1. pp. 81–85. (in Russian).
- 5 López-Cuevas J., López-Badillo C.M., Méndez-Nonell J. Synthesis and phase evolution of a glass-ceramic biomaterial with near-eutectic composition of the pseudo-binary system diopside–tricalcium phosphate. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2021. vol. 60. no. 2. pp. 74–82. doi: 10.1016/j.bsecv.2020.01.008
- 6 Srinath P.A., Azeem P.V., Reddy K., Chiranjeevi P.B. et al. A novel cost-effective approach to fabricate diopside bioceramics. *Advanced powder technology*. 2021. vol. 32. pp. 875–884. doi: 10.1016/j.appt.2021.01.038
- 7 Gotlib E.M., Tverdov I.D., Kha T.N.F., Yamaleeva E.S. Wollastonite and diopside containing fillers of epoxy materials based on agricultural and technogenic waste. *Bulletin of the Technological University*. 2022. vol. 25. no. 8. pp. 164–173. (in Russian).
- 8 Tverdov I.D., Gotlib E.M., Ntsumu R.Sh., Yamaleeva E.S. Diopside as a filler for epoxy polymers. *South Siberian Scientific Bulletin*. 2023. no. 4. pp. 11–15. (in Russian).
- 9 Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M., Yordanov S. et al. Synthesis, phase composition and microstructure of colored ceramic materials based on diopside. *Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations*. 2020. vol. 6. no. 3. pp. 77–79.
- 10 Titorenkova A., Kostov-Kytin V., Dimitrov Ts. Synthesis, phase composition and characterization of Co-diopside ceramic pigments. *Ceramic international*. 2022. vol. 48. no. 24. pp. 36781–36788. doi: 10.1016/j.ceramint.2022.08.242
- 11 Zadehnajar P., Hussein M., Fiocco L., Colombo P. Recent advances on akermanite calcium-silicate ceramic for biomedical applications. *Applied ceramics technology*. 2021. vol. 18. no. 6. pp. 1901–1920. doi: 10.1111/ijac.13814
- 12 Arastouei M., Khodaei M., Mohammad Atyabi S., Nodoushan M.J. Improving the Properties of the Porous Polylactic Acid Scaffold by Akermanite Nanoparticles for Bone Tissue Engineering. *Journal of Advanced Materials and Processing*. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 11–19.
- 13 Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M., Yordanov S. et al. Non-Equilibrium Phase Transformations. *Materials Science*. 2022. vol. 6. no. 3. pp. 77–79. doi: 10.1016/j.physa.2006.04.007
- 14 Nayak P., Kumar S., Bera J. Sol–gel synthesis of bioglass-ceramics using rice husk ash as a source of silica and its characterization. *Journal of non-crystalline solids*. 2010. vol. 356. no. 28–30. pp. 1447–1451. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2010.04.041
- 15 Si V., Li S. Crystallization kinetics of diopside glass ceramics. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. P. 1676. doi: 10.1088/1742-6596/1676/1/012150
- 16 Otto K., Wisniewski W., Rüssel C. Growth mechanisms of surface crystallized diopside. *CrystEngComm*. 2013. vol. 15. no. 32. pp. 6389–6394.
- 17 Gotlib E.M., Yamaleeva E.S., Tverdov I.D., Mishagin K.A. et al. The use of rice husk as a raw material for the production of wollastonite – and diopside-containing fillers. *Ecology of the native land: problems and ways to solve them: materials of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Kirov, 2023. pp. 418–421. (in Russian)
- 18 Tverdov I.D., Galimov E.R., Gotlib E.M., Yamaleeva E.S. Method of obtaining diopside. Patent RF, no. 2801146, 2023.
- 19 Sobhani A., Salimi E. Low temperature preparation of diopside nanoparticles: in-vitro bioactivity and drug loading evaluation // *Scientific Reports*. 2023. vol. 13. doi: 10.1038/s41598-023-43671-0
- 20 Nicoara A.I., Alecu A.E., Balaceanu G-C, Puscasu E.M. et al. Fabrication and Characterization of Porous Diopside/Akermanite Ceramics with Prospective Tissue Engineering Applications. *Materials*. 2023. vol. 16. no. 16. pp. 5548. doi: 10.3390/ma16165548

Сведения об авторах

Илья Д. Твердов аналитик, институт дополнительного образования, Университет Иннополис, Университетская, 1, г. Иннополис, 420500, Россия, idtverdov@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7524-3088>

Екатерина С. Ямалеева к.т.н., доцент, кафедра Медицинской инженерии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, curls888@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

Елена М. Готлиб д.т.н., профессор, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, egotlib@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

Кирилл В. Холин к.х.м., заведующий кафедрой, кафедра физики, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, KholinKV@corp.knrtu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2551-5505>

Тимур П. Султанов ассистент, инженер 2 категории, кафедра физики, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, sultanovtp05@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-1298-2245>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ilya D. Tverdov analyst, Institute of Further Education, Innopolis University, Universitetskaya, 1, Innopolis, 420500, Russia, idtverdov@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7524-3088>

Ekaterina S. Yamaleeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, medical engineering department, Kazan National Research, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, curls888@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

Elena M. Gotlib Dr. Sci. (Engin.), professor, synthetic rubber technology department, Kazan National Research Technological, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, egotlib@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

Kirill V. Kholin Cand. Sci. (Chem), head of department, physics department, Kazan National Research Technological, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, KholinKV@corp.knrtu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2551-5505>

Timur P. Sultanov assistant, engineer 2nd category, physics department, Kazan National Research Technological, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, sultanovtp05@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-1298-2245>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/04/2024	После редакции 23/04/2024	Принята в печать 20/05/2024
Received 04/04/2024	Accepted in revised 23/04/2024	Accepted 20/05/2024