

## **Анализ возможности применения местного сырья и отходов при изготовлении композитов для высокотемпературной теплоизоляции промышленных агрегатов**

*Н.Г. Василовская, А.С. Лукьянов*

*Сибирский федеральный университет*

**Аннотация:** Представлен анализ существующих керамических материалов для высокотемпературной теплоизоляции. Показана возможность получения композита на основе цеолитсодержащего сырья «Сахаптинского» месторождения с добавками для теплоизоляции промышленных агрегатов. Приведены результаты влияния добавок (глины, микрокремнезема, выгорающих добавок и пенообразующей эмульсии) на физико-механические и обжиговые свойства получаемых изделий. Изучены основные характеристики полученной пористой керамики и определены оптимальные границы применения используемых добавок в соответствии с требованиями ГОСТ 2694-78 на аналоговый пенодиатомитовый кирпич. Определено влияние содержания глины в композитах на плотность, прочность и дополнительную линейную усадку образцов. Получен оптимальный состав, содержащий микрокремнезем и выгорающие добавки (опилки) при изготовлении пористой керамики, применяемой для высокотемпературной теплоизоляции с наименьшей плотностью и соответствующий требованиям ГОСТ по прочности и дополнительной линейной усадке.

**Ключевые слова:** цеолит, глина, микрокремнезем, пенообразующая эмульсия, выгорающие добавки, химический состав, обжиговые свойства, физико-механические свойства, пористая керамика, отходы, высокотемпературная теплоизоляция.

В настоящее время использование отходов производства и дешевых сырьевых материалов, наряду с получением местных строительных теплоизоляционных материалов, является перспективным направлением для решения экологических и экономических проблем РФ [1]. Энергосбережение в промышленности - одна из наиболее важных задач российской экономики, не теряющая своей актуальности. Для её решения изучаются свойства новых материалов, и способы их получения. Одним из перспективных направлений в решении этой проблемы является пористая керамика, опыт получения таких материалов весьма разнообразен. Пористую структуру материала получают за счёт выгорающих добавок (отходов углеобработки, деревообработки, золы) [2,3], применением пенообразователей в процессе формования сырца, введением щелочей, алюминиевой пыли или аналогов в составы для порообразования при обжиге [4], а также использованием

природных экологически чистых и искусственных пористых материалов, таких, как диатомиты [5]. Выгорающие добавки позволяют получать материалы с меньшим количеством исходного сырья и пористостью до 45-50%, что недостаточно для их применения в качестве высокотемпературной теплоизоляции [6]. Более эффективным, но технически сложным способом получения материалов с пористостью до 80-85%, являются вспениватели в процессе обжига или в процессе формования изделий [7]. Каждый из них обладает своими преимуществами и недостатками. Первый после обжига требует доработки полученных изделий из-за их вспучивания и увеличения в объёме, второй же сложен в получении качественной пены и её смешивании с шихтой, а также возможной усадки пены до сушки материала. Проблема получения пористой керамики из отходов и экологически чистых материалов является актуальным исследованием как для нашей страны, так и для зарубежья [8, 9]. Технология достижения результата исследований схожа, различие в исходном сырье, его физико-химических свойствах, технологии обжига. С целью снижения экономических затрат при производстве оптимизируются режимы обжига [10], исследуются возможности применения отходов для получения композитов не уступающих по качеству аналоговым материалам [11]. Изучение этих работ позволило разработать составы с применением местного сырья и отходов, таких, как отходы заводов ферросплавов – микрокремнезем, лесообрабатывающей и лесозаготовливающей промышленности – опилки и щепа [12, 13]. Они могут быть применены для получения новых качественных композиционных материалов и расширения номенклатуры производства местных кирпичных заводов.

В ходе проведения исследования за аналог был взят кирпич диатомитовый и пенодиатомитовый по ГОСТ 2694-78 «Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные. Технические условия», производимый в

---

западных регионах РФ, который должен обладать плотностью для пенодиатомитовых от 350 до 400 кг/м<sup>3</sup>, для диатомитовых от 500 до 600 кг/м<sup>3</sup>, пределом прочности при сжатии от 6 до 8 кгс/см<sup>2</sup>, дополнительной линейной усадкой при 900°С не более 2% и теплопроводностью, определяемой при 25°С и 300°С в зависимости от марки кирпичей 0,072-0,1 при 25°С и 0,105-0,145 ккал/(м·ч·°С) при 300°С.

Недостатками пенодиатомитовых и диатомитовых изделий является высокая цена, возможность брака изделий при транспортировке и транспортные расходы до Красноярского края. Для производства диатомитов, соответствующих требованиям ГОСТ 2694-78, используются различные месторождения Российской Федерации, которые отличаются химическим составом, методом добычи и чистотой сырья. [13]. Анализируя химический состав используемых месторождений, выявлено, что основным химическим элементом является оксид кремния SiO<sub>2</sub> - это взято за одну из теоретических основ при подборе химического состава шихты.

В состав композита входили цеолит и добавки. Была использована цеолитовая порода «Сахаптинского» месторождения, она применялась, как местное доступное сырьё, обладающее естественной пористостью. В качестве связующего в композите, для снижения показателя дополнительной линейной усадки вводилась легкоплавкая глина «Кубековского» месторождения, применяемая на существующих кирпичных заводах г. Красноярска. Для корректировки в составе шихты оксида SiO<sub>2</sub> к цеолитам вводили микрокремнезем «Братского» завода ферросплавов, а дополнительное снижение плотности композитов определялось за счёт выгорающих добавок - опилок местных деревообрабатывающих производственных цехов. Определялось влияние их количественного состава на конечную плотность, прочность, дополнительную линейную усадку,

---

хрупкость и внешний вид получаемых изделий. Химический состав используемого сырья представлен в таблице №1, а композита в таблице №2.

Таблица №1

Химический состав «Сахаптинского» цеолита, глины «Кубековского» месторождения, микрокремнезема «Братского» завода ферросплавов.

| Наименование породы | Содержание оксидов, % |                                |                                |                  |      |      |                   |                  |       |
|---------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|-------|
|                     | SiO <sub>2</sub>      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | п.п.п |
| Цеолит              | 64,85                 | 12,70                          | 2,86                           | 0,35             | 2,50 | 1,79 | 0,63              | 3,20             | 11,12 |
| Глина               | 58,76                 | 14,52                          | 5,22                           | 6,71             | 1,83 | 0    | 1,68              | 1,44             | 10,73 |
| Микрокремнезём      | 93,4                  | 0,47                           | 0,6                            | 0                | 0,36 | 0,3  | 0                 | 0,69             | 3,43  |

Таблица №2

Химический состав композитов с добавлением глины и микрокремнезема.

| Состав композита               | Содержание оксидов, % |                                |                                |                  |      |      |                   |                  |       |                      |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|-------|----------------------|
|                                | SiO <sub>2</sub>      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | ппп   |                      |
| 100%цеолит / 0% глина          | 64,85                 | 12,70                          | 2,86                           | 0,35             | 2,50 | 1,79 | 0,63              | 3,20             | 11,12 |                      |
| 85/13                          | 62,76                 | 12,68                          | 3,1                            | 0,35             | 2,99 | 1,76 | 0,75              | 2,9              | 10,73 |                      |
| 80/12                          | 58,93                 | 11,9                           | 2,91                           | 0,35             | 2,81 | 1,65 | 0,71              | 2,73             | 10,08 |                      |
| 85/6                           | 55,41                 | 11,03                          | 2,6                            | 0,35             | 2,4  | 1,54 | 0,6               | 2,64             | 9,49  |                      |
| Состав композита               | Содержание оксидов, % |                                |                                |                  |      |      |                   |                  |       |                      |
|                                | SiO <sub>2</sub>      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | ппп   | SO <sub>2</sub> /SiC |
| 82 цеолит/ Микрокремнезём5(мк) | 66,21                 | 12,12                          | 2,82                           | 0,35             | 2,42 | 1,72 | 0,6               | 3,1              | 11,12 | 0,09/до 3            |
| 77/мк14                        | 68,92                 | 10,96                          | 2,73                           | 0,35             | 2,28 | 1,57 | 0,55              | 2,8              | 11,12 | 0,09/до 3            |
| 71/мк24                        | 78,03                 | 9,8                            | 2,65                           | 0,35             | 2,14 | 1,42 | 0,5               | 2,53             | 11,12 | 0,09/до 3            |

Рабочие составы отличались различным содержанием цеолита, глины, микрокремнезема, опилок с одинаковым количеством вспенивающей

эмульсии. В таблице №3 представлены рабочие составы для изготовления образцов и их физико-механические свойства.

Таблица №3

Составы шихты и физико-механические свойства образцов.

| № | Состав композита, на 100% массы |          |                    |           | Усадка*, % | Доп. линейная усадка при 900°С, % | ρ, кг/м <sup>3</sup> | Rсж, МПа |
|---|---------------------------------|----------|--------------------|-----------|------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
|   | Цеолит, %                       | Глина, % | Микро-кремнезём, % | Опилки, % |            |                                   |                      |          |
| 1 | 100                             | 0        | -                  | 0         | 2,93       | 1,3                               | 1084                 | 3,44     |
| 2 | 85                              | 13       | -                  | 2         | 2,6        | 1,25                              | 1030                 | 1,9      |
| 3 | 85                              | 12       | -                  | 3         | 2,7        | 1,29                              | 1013                 | 1,35     |
| 4 | 85                              | 6        | -                  | 9         | 5,3        | 1,6                               | 880                  | 0,88     |
| 5 | 82                              | -        | 5                  | 13        | 7,2        | 2,2                               | 669                  | 0,7      |
| 6 | 77                              | -        | 14                 | 9         | 4,9        | 1,7                               | 662                  | 0,88     |
| 7 | 71                              | -        | 24                 | 5         | 5,2        | 1,3                               | 931                  | 0,73     |

\*Общая при сушке и обжиге сырья.

Анализ полученных результатов показывает, что введение выгорающих добавок (опилок) в составах композита цеолит-глина-эмульсия в количестве 2-9% от сухой массы сырья даёт положительное, но недостаточное уменьшение плотности материала на 5-19% (с 1084 до 880 кг/м<sup>3</sup>), соответственно уменьшаются прочностные характеристики. Введение в композит микрокремнезема и опилок даёт снижение плотности материала на 14-39% (с 1084 до 662 кг/м<sup>3</sup>), что близко к верхней границе требований ГОСТ, однако требования по прочности для составов удовлетворяются или находятся в допустимых границах. Зависимость плотности и прочности от количества добавок глины, микрокремнезема и опилок показаны на рис. 1, 2 и 3. Получившиеся материалы, за исключением состава 5, не имеют сколов, нарушения структуры и отклонений по линейным размерам, дополнительная линейная усадка при повторном нагревании образцов, определяемая по

методике ГОСТ 5402-81 «Изделия огнеупорные. Методы определения дополнительной линейной усадки или роста», соответствует требуемому ГОСТ на пеницилитовый кирпич и не превышает 2% при 900°C.

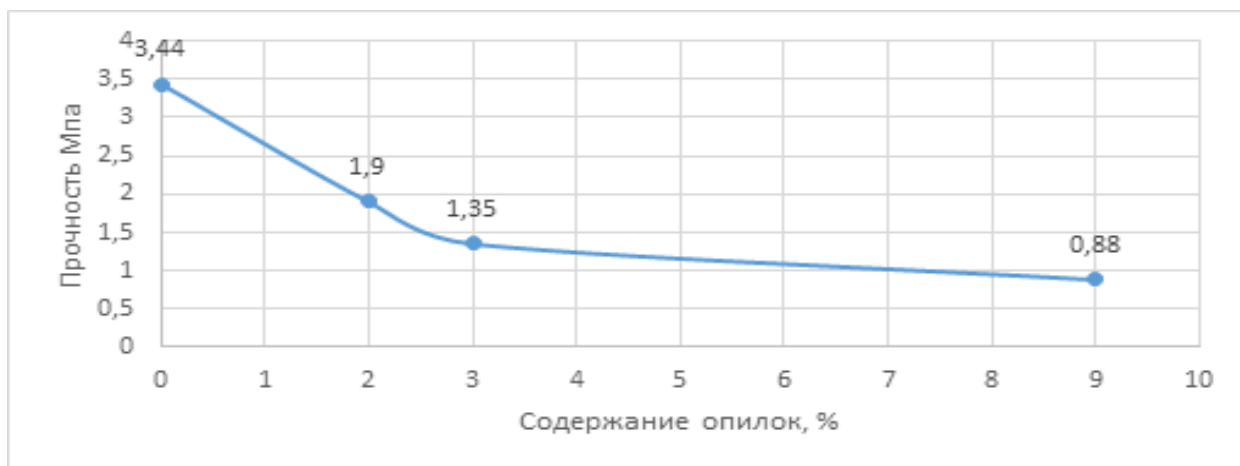


Рис. 1 - Влияние количества опилок на прочность составов цеолита с глиной

Как видно из рис. 1, при добавлении опилок от 2 до 9%, существенно снижается прочность образцов от 45 до 74%, а плотность изделий слишком высокая для применения их в качестве высокотемпературной теплоизоляции.

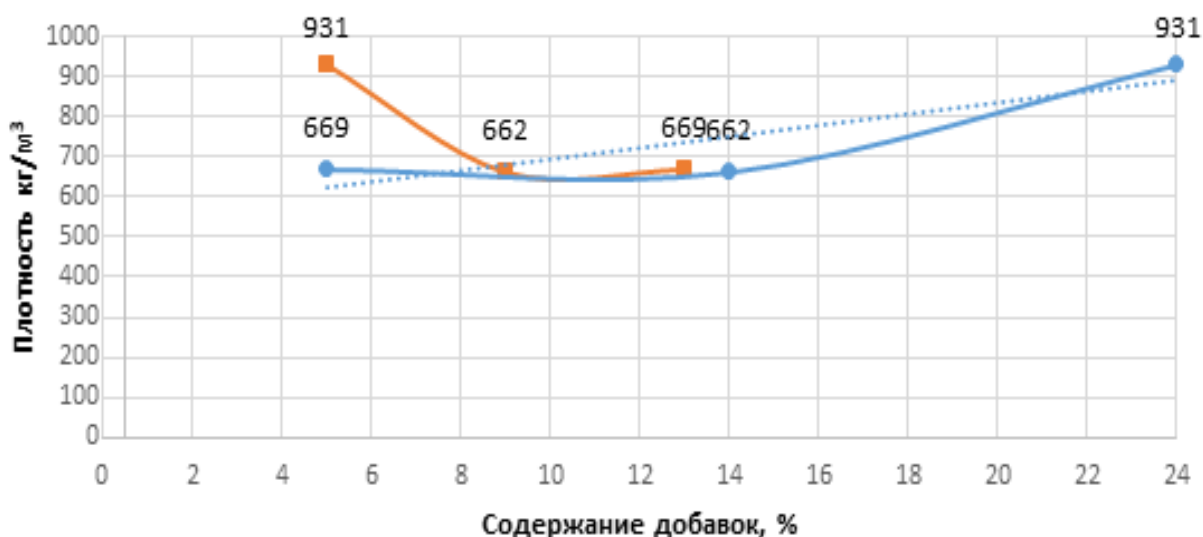


Рис. 2. - Влияние количества микрокремнезема и опилок на плотность композита

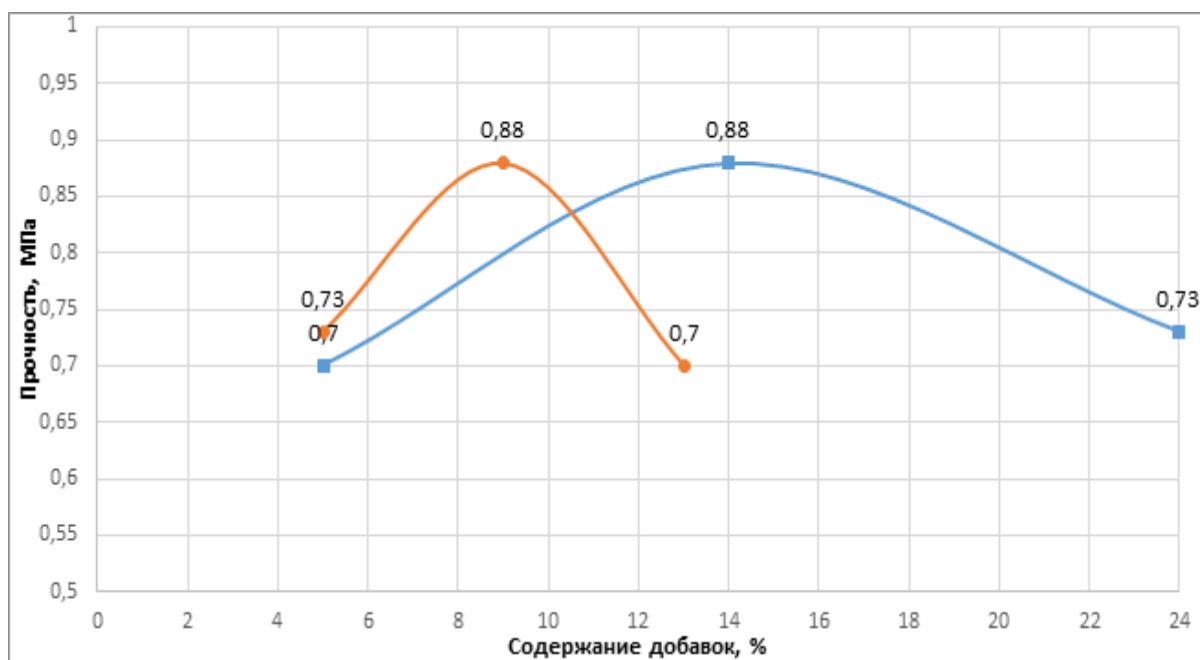


Рис. 3. - График изменения прочности, в зависимости от количества опилок и микрокремнезема

Анализ рис. 2 и 3 показывает, что наилучшие показатели плотности композита возможно получить при количестве опилок 9% от сухой массы шихты (короткая линия) и микрокремнезема 14% (длинная), при этих же соотношениях достигаются наибольшие значения прочности. Также можно сделать вывод, что увеличение доли микрокремнезема в смеси, являющегося более лёгким и тонкодисперсным материалом, в сравнении с цеолитом и глиной, даёт незначительное снижение плотности, а при его добавлении более 15%, снижает прочность и повышает плотность материала. Это, возможно, связано с тем, что в структуре материала цеолит является крупной фракцией, а микрокремнезем - мелкой, заполняющей поры между частицами цеолита и являющимся центром образования кристаллических решёток, при таком увеличении его количества нарушается баланс в структуре и связях, что и является причиной снижения прочности, как при добавлении большего количества опилок.

### **Заключение**

- В результате исследования композитов на основе цеолита с добавлением глины, микрокремнезема и выгорающих добавок, были получены образцы пористой керамики, которые можно применять в качестве высокотемпературной теплоизоляции.
- Введение добавки глины в композит снижает усадку изделий до показателей ГОСТ от первоначальной, однако плотность полученного материала не позволяет применять его для высокотемпературной теплоизоляции.
- Наилучшими показателями плотности, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 2694-78, являются выгорающие добавки опилок в количестве 9% и микрокремнезема в количестве 14%.

### **Литература**

1. Митина Н.Н., Утилизация промышленных отходов в России и в мире: проблемы и решения // «Neftegaz.RU». 2020. №3. URL: [magazine.neftegaz.ru/articles/ekologiya/536780-utilizatsiya-promyshlennykh-otkhodov-v-rossii-i-v-mire-problemy-i-resheniya/](http://magazine.neftegaz.ru/articles/ekologiya/536780-utilizatsiya-promyshlennykh-otkhodov-v-rossii-i-v-mire-problemy-i-resheniya/)
2. Явруян Х.С., Гайшун Е.С., Мирина В.А. Инновационные добавки при производстве стеновой керамики // Инженерный вестник Дона. 2016. №4. URL: [ivdon.ru/magazine/Archive/N4y2016/3763](http://ivdon.ru/magazine/Archive/N4y2016/3763)
3. Jamal-Eldin F.M. Ibrahim, Tihit Mohammed, Kurovics Emese, and others. Innovative glass-ceramic foams prepared by alkali activation and reactive sintering of clay containing zeolite (zeolite-poor rock) and sawdust for thermal insulation // Journal of Building Engineering. 2022. №59. URL: [Doi.Org/10.1016/J.Jobee.2022.105160](https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.105160)
4. Jamal-Eldin F. M. Ibrahim, Kurovics Emese, Tihit Mohammed, and others. Synthesis and characterization of alkali-activated zeolite-poor rocks // Journal of



Physics Conference Series. 2022. №2315. URL:  
[researchgate.net/publication/362320746\\_Synthesis\\_and\\_characterization\\_of\\_alkali-activated\\_zeolite-poor\\_rocks](https://researchgate.net/publication/362320746_Synthesis_and_characterization_of_alkali-activated_zeolite-poor_rocks).

5. Дацко Т.Я., Зеленцов В.И., Дворникова Е.Е. Физико-химические свойства диатомита модифицированного соединениями алюминия // Электронная обработка материалов. 2011. №6. Том 47. URL:  
[cyberleninka.ru/article/n/fiziko-himicheskie-i-adsorbtsionno-strukturnye-svoystva-diatomita-modifitsirovannogo-soedineniyami-alyuminiya](http://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-himicheskie-i-adsorbtsionno-strukturnye-svoystva-diatomita-modifitsirovannogo-soedineniyami-alyuminiya).

6. Ибе Е.Е., Чекалова А.Ю., Шибаева Г.Н. Поризованная керамика на основе гидролизного лигнина // Инженерный вестник Дона. 2021. №7. URL:  
[ivdon.ru/Ru/Magazine/Archive/N7y2021/7068](http://ivdon.ru/Ru/Magazine/Archive/N7y2021/7068)

7. Белугин Д.С., Попов Р.Ю., Богдан Е.О. Разработка составов масс теплоизоляционных керамических материалов с использованием легкоплавких глин республики Беларусь. // «Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием». Ярославль. 2018. С. 136-138. URL:  
[ystu.ru/1\\_Sbornik\\_materialov\\_71\\_Conf\\_2018.PDF](http://ystu.ru/1_Sbornik_materialov_71_Conf_2018.PDF)

8. Jamal-Eldin F.M. Ibrahim, Kotova Olga B., Sun Shiyong, and others. Preparation of innovative eco-efficient composite bricks based on zeolite-poor rock and Hen's eggshell // Journal of Building Engineering. 2022. №45 URL:  
[doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103491](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103491)

9. Rath Matthias, inventor, Rowand LLP, assignee. Process for producing a foam ceramic Canadian patent №CA2960461A1 // Canadian patent database. 2022 Aug 23. URL:  
[brevets-patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/eng/patent/2960461/summary.html](https://brevets-patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/eng/patent/2960461/summary.html)

10. Fatimah Dewi. Pembuatan Zeolit Alam sebagai Keramik Batu pada Suhu Bakar di Bawah 1000°C // Journal of Indonesian Zeolites. 2006. №2 vol.5. URL:

[docplayer.info/38397889-Pembuatan-zeolit-alam-sebagai-keramik-batu-pada-suhu-bakar-di-bawah-1000-o-c.html](http://docplayer.info/38397889-Pembuatan-zeolit-alam-sebagai-keramik-batu-pada-suhu-bakar-di-bawah-1000-o-c.html)

11. Дмитриев К.С. Пористая керамика современное состояние и перспективы // Международный журнал экспериментального образования. 2016. №7 URL:

[expeducation.ru/ru/article/view?id=10309&ysclid=lb4g3899ai192901070](http://expeducation.ru/ru/article/view?id=10309&ysclid=lb4g3899ai192901070)

12. Маневич В.Е., Субботин Р.К., Сеник Н.А., Мешков А.В. Диатомит – кремнеземосодержащий материал для стекольной промышленности // Стекло и керамика. 2012. №5. URL: [glass-ceramics.ru/ru/archivru/26-syreveye-materialy/3711-rus-glc-2012-5-pp-034-039](http://glass-ceramics.ru/ru/archivru/26-syreveye-materialy/3711-rus-glc-2012-5-pp-034-039)

13. Шлегель И.Ф., Макаров С.Г. Вопросы переработки опилок // Строительные материалы. 2017. № 10. URL: [journal-sm.ru/index.php/ru/zhurnaly/2017/vse-stati-za-2017/voprosy-pererabotki-opilok](http://journal-sm.ru/index.php/ru/zhurnaly/2017/vse-stati-za-2017/voprosy-pererabotki-opilok)

### References

1. Mitina N.N. «Neftegaz.RU». 2020. №3. URL: [magazine.neftegaz.ru/articles/ekologiya/536780-utilizatsiya-promyshlennykh-otkhodov-v-rossii-i-v-mire-problemy-i-resheniya/](http://magazine.neftegaz.ru/articles/ekologiya/536780-utilizatsiya-promyshlennykh-otkhodov-v-rossii-i-v-mire-problemy-i-resheniya/)

2. Yavruyan Kh.S., Gayshun E.S., Mirina V.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2016. №4. URL: [ivdon.ru/Ru/Magazine/Archive/N4y2016/3763](http://ivdon.ru/Ru/Magazine/Archive/N4y2016/3763)

3. Jamal-Eldin F.M. Ibrahim, Tihtih Mohammed, Kurovics Emese, and others. Journal of Building Engineering. 2022. №59. URL: [Doi.Org/10.1016/J.Job.2022.105160](https://doi.org/10.1016/J.Job.2022.105160)

4. Jamal-Eldin F. M. Ibrahim, Kurovics Emese, Tihtih Mohammed, and others. Journal of Physics Conference Series. 2022. №2315. URL: [researchgate.net/publication/362320746\\_Synthesis\\_and\\_characterization\\_of\\_alkali-activated\\_zeolite-poor\\_rocks](https://researchgate.net/publication/362320746_Synthesis_and_characterization_of_alkali-activated_zeolite-poor_rocks)

5. Datsko T.Ya., Zelentsov V.I., Dvornikova E.E. Elektronnaya obrabotka materialov. 2011. №6 volume 47. URL: [cyberleninka.ru/article/n/fiziko-](http://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-)

himicheskie-i-adsorbtsionno-strukturnye-svoystva-diatomita-modifitsirovannogo-soedineniyami-alyuminiya

6. Ibe E.E., Chekalova A.Yu., Shibaeva G.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7068](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7068)
  7. Belugin D.S., Popov R.Yu., Bogdan E.O. Razrabotka sostavov mass teploizolyatsionnykh keramicheskikh materialov s ispol'zovaniem legkoplavkikh glin respubliki Belarus' [Development of mass compositions of heat-insulating ceramic materials using fusible clays of the Republic of Belarus]. "Seventy-first All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates and Postgraduates of Higher Educational Institutions with International Participation". Yaroslavl. 2018. pp. 136-138.  
URL: [ystu.ru/1\\_Sbornik\\_materialov\\_71\\_Conf\\_2018.PDF](http://ystu.ru/1_Sbornik_materialov_71_Conf_2018.PDF)
  8. Jamal-Eldin F.M. Ibrahim, Kotova Olga B., Sun Shiyong, and others. Journal of Building Engineering. 2022. №45. URL: [doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103491](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103491)
  9. Rath Matthias. Canadian patent database. 2022 Aug 23. URL: [brevets-patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/eng/patent/2960461/summary.html](http://brevets-patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/eng/patent/2960461/summary.html)
  10. Fatimah Dewi. Journal of Indonesian Zeolites. 2006. №2 vol.5. URL: [docplayer.info/38397889-Pembuatan-zeolit-alam-sebagai-keramik-batu-pada-suhu-bakar-di-bawah-1000-o-c.html](http://docplayer.info/38397889-Pembuatan-zeolit-alam-sebagai-keramik-batu-pada-suhu-bakar-di-bawah-1000-o-c.html)
  11. Dmitriev K.S. Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. 2016.№7. URL: [expeducation.ru/ru/article/view?id=10309&ysclid=lb4g3899ai192901070](http://expeducation.ru/ru/article/view?id=10309&ysclid=lb4g3899ai192901070)
  12. Manevich V.E., Subbotin R.K., Senik N.A., and others. Steklo i keramika. 2012. №5. URL: [glass-ceramics.ru/ru/archivru/26-syreveye-materialy/3711-rus-glc-2012-5-pp-034-039](http://glass-ceramics.ru/ru/archivru/26-syreveye-materialy/3711-rus-glc-2012-5-pp-034-039)
-

13. Shlegel' I.F., Makarov S.G. Stroitel'nye materialy 2017. № 10. URL: [journal-cm.ru/index.php/ru/zhurnaly/2017/vse-stati-za-2017/voprosy-pererabotki-opilok](http://journal-cm.ru/index.php/ru/zhurnaly/2017/vse-stati-za-2017/voprosy-pererabotki-opilok)