

УДК 553.6; 553.5; 691.42; 691.43

DOI: 10.46698/VNC.2023.55.96.008

Оригинальная статья

Особенности цеолитсодержащих кремнисто-карбонатных пород Дагестана

А.Р. Юсупов^{id}, С.А. Мамаев^{id}, З.А. Юсупов^{id}, А.С. Мамаев^{id}

Институт геологии Дагестанского научного центра РАН,
Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75,
e-mail: dangeogis@mail.ru

Статья поступила: 11.09.2023, доработана: 24.11.2023, принята к публикации: 04.12.2023

Резюме: Актуальность работы. Содержание ОКТ (опал-кристобалит-тридимитовой) фазы и цеолитов в кремнисто-карбонатных породах Дагестана суммарно достигает до 50% при содержании кальцита выше 30%. Нами проводились лабораторные исследования данных пород, в которых содержание ОКТ фазы составляет около 30%, цеолитов до 27%, кальцита до 26%. В результате исследований установлено, что цеолитсодержащие кремнисто-карбонатные породы, распространенные в эоценовых отложениях на территории Республики Дагестан, можно использовать для получения теплоизоляционных материалов. **Цель исследования.** Целью наших исследований является рассмотрение данных пород как сырья для производства строительных материалов, в соответствии с результатами лабораторно-технологического изучения. **Методы исследований.** Определялись прочность полученных изделий при сжатии и изгибе, также плотность и теплотехнические свойства. Изучение теплоизоляционных характеристик проводилось в соответствии с ГОСТ 16381–77 «Материалы строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования». Методом рентгенографического фазового анализа определялся минеральный состав образцов, также получен химический состав исследуемого образца. **Результаты исследований.** Результаты исследования сырья показали, что карбонатно-кремнистая цеолитсодержащая порода, по составу и свойствам соответствующая материалу пробы ЛТ-1, может быть использована в качестве заполнителя в составе композиционных смесей со связующим для приготовления твердых строительных растворов пониженной теплопроводности, легких конструктивно-теплоизоляционных и других материалов.

Ключевые слова: цеолиты, цеолитсодержащие породы, кремнистые породы, кальцит, эоцен, опал-кристобалит-тридимит, теплоизоляционные материалы, Дагестан.

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания Института геологии ДФИЦ РАН № НИОКТР 1021060808457-2-1.5.6 и № НИОКТР 1021060808460-6-1.5.6.

Для цитирования: Юсупов А.Р., Мамаев С.А., Юсупов З.А., Мамаев А.С. Особенности цеолитсодержащих кремнисто-карбонатных пород Дагестана. *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 13(4): 99-107. DOI: 10.46698/VNC.2023.55.96.008

DOI: 10.46698/VNC.2023.55.96.008

Original paper

Features of zeolite-containing siliceous-carbonate rocks of Dagestan

A.R. Yusupov^{ID}, S.A. Mamaev^{ID}, Z.A. Yusupov^{ID}, A.S. Mamaev^{ID}

Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
75 Yaragskogo Str., Makhachkala 367010, Russian Federation,
e-mail: dangeogis@mail.ru

Received: 11.09.2023, revised: 24.11.2023, accepted: 04.12.2023

Abstract. Relevance. The content of the OCT (opal-cristobalite-tridymite) phase and zeolites in the siliceous-carbonate rocks of Dagestan reaches a total of 50% with a calcite content above 30%. The laboratory studies of these rocks were conducted and OCT is about 30%, zeolites up to 27%, calcite up to 26%. As a result of research, it has been established that zeolite-containing siliceous-carbonate rocks, common in Eocene deposits on the territory of the Republic of Dagestan, can be used to obtain thermal insulation materials. **Aim.** The aim of research is to consider these rocks as raw materials for the production of building materials, in accordance with the results of laboratory and technological studies. **Research methods.** The strength of the resulting products in compression and bending, as well as density and thermal properties were determined. The study of thermal insulation characteristics was carried out in accordance with GOST 16381–77 “Thermal insulating materials for construction. Classification and general technical requirements”. The mineral composition of the samples was determined by the method of x-ray phase analysis, and the chemical composition of the studied sample under study was also obtained. **Results.** The results of the study of raw materials showed that carbonate-siliceous zeolite-containing rock, which in composition and properties corresponds to the material of the LT-1 sample, can be used as composite mixtures with a binder for the preparation of solid mortars of low thermal conductivity, lightweight structural thermal insulation and other materials.

Keywords. Zeolites, zeolite-containing rocks, siliceous rocks, calcite, Eocene, opal-cristobalite-tridymite, Thermal insulation materials, Dagestan.

Acknowledgement: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Geology of the Far Eastern Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences No. NIOKTR 1021060808457-2-1.5.6 and No. NIOKTR 1021060808460-6-1.5.6.

For citation: Yusupov A.R., Mamaev S.A., Yusupov Z.A., Mamaev A.S., Features of zeolite-containing siliceous-carbonate rocks of Dagestan. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2023. 13(4): 99-107. DOI: 10.46698/VNC.2023.55.96.008

Введение

Цеолитсодержащие кремнисто-карбонатные породы и цеолиты находят применение в разных отраслях сельского хозяйства, промышленности, в здравоохранении, производстве нетрадиционных видов строительных материалов, в области охраны окружающей среды и других областях [Талпа и др., 1992; Халиков, 2014; Хардинов, 2005; Хардинов и др., 1992; Горшков, Гладких, 2010; Ma et al., 2018; Ivanov, 2019]. С каждым годом разрабатываются новые все более совершенные технические условия применения различных видов цеолитсодержащего сырья. [Горшков, Гладких, 2010; Давидюк, Несветаев, 2010; Иванова и др., 2003; Guoa et al., 2012].

ОКТ фаза также является природным сорбентом наряду с цеолитами. Физико-химические свойства ОКТ дополняют и расширяют основные показатели пород и, в конечном итоге, влияют на технологические свойства, качество цеолитового сырья и возможные области его применения [Конюхова, Дистанов, 2000; Entropa et al., 2010].

Теплоизоляционные материалы, полученные из цеолитсодержащих пород по современным технологиям должны соответствовать определенным требованиям. Изделия полученные из этого сырья должны иметь теплопроводность менее $0,175 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, при удельном весе менее 600 кг/м^3 . Также должны иметь стабильные физико-механические и теплотехнические свойства; отсутствие токсических веществ. [Иванова и др., 2003; Гагарин, Козлов, 2011; Жуков и др., 2015; Панов и др., 2008; Мамонтов и др., 2013; Моргун и др., 2015; Тотурбиев и др., 2022; Wei Li et al., 2012].

Цель работы. Вопрос создания минерально-сырьевой базы цеолитов в европейской части России является весьма актуальным. Одной из наиболее перспективных с геологической точки зрения является территория Северного Кавказа и юга Русской платформы [Юсупов и др., 2021; Юсупов и др., 2022].

Кремнистые породы опал-кристобалит-тридимитового (ОКТ) состава с содержанием цеолитов (10–50 %) развиты на Левашинском и Рубасчайском участках Республики Дагестан (РД) [Юсупов и др., 2021; Юсупов и др., 2022]. На других участках региона такие породы проявлены в ограниченном объеме. Впервые эти породы Дагестана нами рассматриваются как сырье для получения теплоизоляционных материалов. Это имеет большое значение для республики и других регионов России при современном растущем объеме строительства.

Методы исследований



Общая характеристика пробы.

Работа проведена на измельченных продуктах цеолитсодержащих пород, отобранных на месторождении Дюбек (рис. 1) (пробы №№ 1–2), (пробы №№ 3–4) и (пробы №№ 5–6). Исходные пробы имели одинаковую массу. Для испытаний пробы были объединены в одну лабораторную технологическую пробу с общей массой 6,3 кг. Она замаркирована как ЛТ-1.

Рис. 1. Схема расположения месторождения Дюбек. /

Fig. 1. Layout of the Dyubek field.

Минеральный состав пробы ЛТ-1 следующий: глинистые минералы – 8%, кальцит – 26%, кварц – 6%, ОКТ -30%, цеолиты – 27%, полевые шпаты – 3%. В химическом составе пробы SiO_2 – 48,0-63,55%,

CaO – 7,28-24,69%, Al₂O₃ – 3,57-10,56%, Fe₂O₃ – 0,97-2,51%, MgO – 0,49-1,57%, Na₂O – 0,27–1,09%, K₂O – 0,71–1,09%. Потери при прокаливании по частным пробам изменяются от 11,14 до 20,66 %. Наибольший размер частиц не превышает 1 мм. Содержание частиц крупности – 1,0+0,5 мм составляет 15 %, – 0,5+0,0 мм – 85%.

Вспученных частиц в пробе, прокаленной при 1000 °С, не обнаружено.

Изучение теплоизоляционных характеристик проводилось в соответствии с ГОСТ 16381–77 «Материалы строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования». По ГОСТ, теплоизоляционные материалы и изделия строительного назначения должны удовлетворять следующим требованиям: теплопроводность не больше 0,175 Вт/м·К; плотность (объемная масса) не больше 600 кг/м³; стабильные физико-механические и теплотехнические свойства; отсутствие токсических веществ.

По теплопроводности материалы и изделия подразделяются на классы: «А» – низкой теплопроводности (до 0,06 Вт/м·К); «Б» – средней теплопроводности (св. 0,06 до 0,115 Вт/м·К); «В» – повышенной теплопроводности (св. 0,115 до 0,175 Вт/м·К). Материалы и изделия с низкой теплопроводностью относятся к наиболее качественным.

По возгораемости теплоизоляционные материалы и изделия подразделяются на группы: негоряемые; трудно сгораемые; сгораемые.

По плотности материалы подразделяются на «ОНП» - особо низкой плотности (меньше 75 кг/м³); «НП» - низкой плотности (от 75 до 175 кг/м³); «СП» средней плотности (от 175 до 350 кг/м³); «ПЛ» - плотные (от 350 до 600 кг/м³). Для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов применяют материалы плотностью свыше 400 кг/м³, а для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений только при соответствующих технико-экономических обоснованиях применяются материалы плотностью свыше 500 кг/м³ [Панов и др., 2008; Куковский, 1966; Наумов и др., 1959; Роговой, 1974; Uygunoğlu et al., 2011; Johannes et al., 2011].

Результаты исследований

Технологическая оценка возможности применения в производстве теплоизоляционных изделий из цеолитсодержащих пород проводилась на исходной и прокаленной при 1000°С пробах с крупностью частиц меньше 1 мм.

Исходная сухая карбонатно-кремнистая цеолитсодержащая порода имеет насыпную массу 960 кг/м³ и теплопроводность в слое – 0,143 Вт/м·К (определение теплопроводности проводилось на измерителе теплопроводности ИТП-МГ4 «100» при стационарном тепловом режиме по ГОСТ 7076 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности»).

Обожженная при температуре 1000°С цеолитовая порода имеет насыпную массу 750 кг/м³, что меньше не обожженной породы, в 1,3 раза. Теплопроводность обожженной породы в слое – 0,142 Вт/м·К, что соответствует теплопроводности исходного материала.

Таким образом, по теплопроводности как исходная, так и обожженная цеолитсодержащие породы относятся к зернистым негоряемым твердым теплоизоляционным материалам класса «В» (с теплопроводностью от 0,115 до 0,175 Вт/м·К); подобная теплопроводность соответствует значениям ГОСТ 16381-77 «Материалы

строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования». При этом насыпная масса пробы ($750-960 \text{ кг/м}^3$) не удовлетворяет требованиям указанного ГОСТа (600 кг/м^3).

Повышенная теплопроводность карбонатно-кремнистой цеолитсодержащей породы позволяет использовать ее в качестве теплоизоляционного заполнителя при производстве строительных материалов с пониженной теплопроводностью и, возможно, строительных растворов, применяемых для кладки и штукатурки, а также при изготовлении конструкционно-теплоизоляционных материалов, таких как легкие бетоны.

Для определения теплопроводности изделий, полученных с карбонатно-кремнистыми цеолитсодержащим заполнителем, изготавливались плитки размером $100 \times 100 \times 20 \text{ мм}$. В качестве вяжущего использовались гипс, цемент, известь. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

**Плотность и теплопроводность изделий из смесей гипс, цемент, известь, ЛТ-1 /
Density and thermal conductivity of products made from mixtures of gypsum, cement, lime, LT-1**

Сырьевая смесь / Raw mixture	Плотность, кг/м^3 / Density, kg/m^3	Теплопроводность, Вт/м К / Thermal conductivity, W/m K
гипс 50 % + ЛТ-1 исходная 50 % / gypsum 50% + LT-1 original 50%	1220	0,287
гипс 50 % + ЛТ-1 прокаленная 50 % / gypsum 50% + LT-1 calcined 50%	1360	0,264
цемент 1 ч + ЛТ-1 сырая 3 ч / cement 1 h + LT-1 raw 3 h	1360	0,319
цемент 1 ч + ЛТ-1 прокаленная 3 ч / cement 1 h + LT-1 calcined 3 h	1230	0,270
известь 1 ч + ЛТ-1 сырая 4 ч / lime 1 h + LT-1 raw 4 h	1180	0,262
известь 1 ч + ЛТ-1 прокаленная 4 / lime 1 h + LT-1 calcined 4	1070	0,205
цемент 1 ч + гипс 2 ч + ЛТ-1 сырая 6 ч / cement 1 h + gypsum 2 h + LT-1 raw 6 h	1350	0,275
цемент 1 ч + известь 2 ч + ЛТ-1 сырая 6 ч / cement 1 h + lime 2 h + LT-1 raw 6 h	1220	0,287

Из табл. 1 видно, что по теплопроводности ($0,205 - 0,319 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) плитки, изготовленные на основе вяжущих, представленных цементом, известью и гипсом или их смесью, с применением заполнителей из сырой или термообработанной цеолитсодержащей породы, не отвечают требованиям ГОСТ 16381-77 (теплопроводность не должна превышать $0,175 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$). Однако теплопроводность этих изделий значительно ниже, чем теплопроводность изделий, приготовленных на основе аналогичных вяжущих с применением кварцевого песка ($0,367-0,540 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$), а также изделий, изготовленных только из одного цемента ($0,723 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) или гипса ($0,620 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$), и керамического полнотелого кирпича ($0,566 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$). Поэтому при изготовлении строительных материалов и изделий с пониженной теплопроводностью применение цеолитсодержащей породы в качестве заполнителя является бо-

лее эффективным по сравнению с кварцевым заполнителем, или по сравнению с изделиями, изготавливаемыми на основе одних указанных выше вяжущих без каких-либо заполнителей.

Прочностные свойства изделий, полученных с цеолитсодержащим заполнителем, определялись на образцах, изготовленных способом пластического формования в виде прямоугольных призм размером 160×40×40 мм. Определение прочности проводили на изделиях в возрасте 28 суток по методике ГОСТ 8462–85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе». Результаты испытания сведены в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

**Прочность при сжатии и прочность при изгибе изделий
из смесей гипс, цемент, известь, ЛТ-1 /
Compressive strength and bending strength of products from mixtures
of gypsum, cement, lime, LT-1**

Сырьевая смесь / Raw mix Strength	Прочность при сжатии, МПа / In compression, MPa	Прочность при изгибе, МПа / Strength at bending, MPa
гипс 50 % + ЛТ-1 исходная 50 % / gypsum 50% + LT-1 original 50%	1,81	0,87
гипс 50 % + ЛТ-1 прокаленная 50 % / gypsum 50% + LT-1 calcined 50%	2,92	1,91
цемент 1 ч + ЛТ-1 сырая 3 ч / cement 1 h + LT-1 raw 3 h	8,36	1,24
цемент 1 ч + ЛТ-1 прокаленная 3 ч / cement 1 h + LT-1 calcined 3 h	4,25	1,53
известь 1 ч + ЛТ-1 сырая 4 ч / lime 1 h + LT-1 raw 4 h	1,15	0,40
известь 1 ч + ЛТ-1 прокаленная 4 / lime 1 h + LT-1 calcined 4	0,48	0,42

Дополнительно были проведены испытания по *возможностям использования цеолитсодержащей породы для приготовления строительных растворов*. Согласно ГОСТ 28013-98 «Растворы строительные. Общие технические условия», цеолитсодержащие породы могут быть применены для изготовления строительных растворов, которые по прочности при сжатии отвечают требованиям на марки М4 (на основе сырьевой смеси «известь 1 ч + ЛТ-1 прокаленная 4 ч»), марки М10 (на основе сырьевой смеси «известь 1 ч + ЛТ-1 сырая 4 ч», «гипс 50 % + ЛТ-1 сырая 50 %»), марки М25 (на основе сырьевой смеси «цемент 1 ч + ЛТ-10 прокаленная 3 ч»), марки М50 (на основе сырьевой смеси «гипс 50 % + ЛТ-1 прокаленная 50 %»), марки М75 (на основе сырьевой смеси «цемент 1 ч + ЛТ-1 сырая 3 ч»). По плотности затвердевшие растворы в проектном возрасте относятся к легким растворам (плотность меньше 1500 кг/м³).

Вывод (предварительный): карбонатно-кремнистая цеолитсодержащая порода, по составу и свойствам соответствующая материалу пробы ЛТ-1, может быть использована в качестве заполнителя в составе композиционных смесей со связующим для приготовления твердых строительных растворов пониженной теплопроводности, легких конструкционно-теплоизоляционных и других материалов.

Литература

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий». // Строительные материалы. – 2011. – № 8. – С. 2–6.
2. Горшков А.С., Гладких А.А. Мероприятия по повышению энергоэффективности в строительстве. // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 246–250.
3. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Эффективные материалы и конструкции для решения проблемы энергосбережения зданий. // Жилищное строительство. – 2010. – № 3. – С. 16–20.
4. Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Бессонов И.В. Строительные системы и особенности применения теплоизоляционных материалов. // Жилищное строительство. – 2015. – № 7. – С. 49–51.
5. Иванова А.С., Черных В.Н. Новые теплоизоляционные материалы (их свойства и области применения). // Неделя науки СПбПУ. Материалы межвузовской научной конференции. Ч2. – 2003 – С. 116–117.
6. Конюхова Т.П., Дистанов У.Г. Технологическая классификация смешанных кремнистых цеолитсодержащих пород. // Разведка и охрана недр. – 2000. – № 9. – С. 45–46.
7. Куковский Е.Г. Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов. / Киев. Наукова Думка. – 1966. 132 с.
8. Мамонтов А.А., Ярцев В.П., Струлев С.А. Анализ влажности различных утеплителей в ограждающих конструкциях здания при эксплуатации в отопительный период. // Academia. Архитектура и строительство. – 2013. – № 4. – С. 117–119.
9. Моргун В.Н., Моргун Л.В., Черенкова И.А. К вопросу об эффективности теплоизоляции фасадов гражданских зданий. // Жилищное строительство. – 2015. – № 4. – С. 21–24.
10. Наумов М.М., Кашкаев И.С., Буз М.А., Шейнман Е.Ш. Технология глиняного кирпича. – М.: Стройиздат. 1959. 16. с.
11. Панов Ю.Т., Чижова Л.А., Кудряшов А.В., Панов С.Ю., Панкратов А.В. Влияние плотности и дисперсных наполнителей на теплопроводность пенопластов. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51. Вып. 2. – С. 92–94.
12. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М., Стройиздат. – 1974. 41 с.
13. Талпа Б.В., Агарков Ю.В., Бардин Ю.Ю. Кремнистые породы – новая сырьевая база стройиндустрии Северного Кавказа. // Разведка и охрана недр. – 1992. – №11. – С. 12–14.
14. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Низкообжиговая, энергосберегающая, экологически безопасная технология производства керамических материалов на основе глинистых сланцев. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т.12. – №1. – С. 148–161.
15. Халиков Д.А. Классификация теплоизоляционных материалов по функциональному назначению. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–6. – С. 1287–1291.
16. Хардигов А.Э. Цеолиты Северного Кавказа. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та. 2005. 224 с.
17. Хардигов А.Э., Бойко Н.И., Агарков Ю.В. Цеолиты Восточного Предкавказья и перспективы их практического использования. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1992. – №6. – С. 86–91.
18. Юсупов А.Р., Мамаев С.А., Юсупов З.А., Мамаев А.С. Исследование цеолитсодержащих кремнистых пород Дагестана для получения минеральной добавки в цемент. // Вестник геонаук. – 2021. – №10(322). – С. 42–46.
19. Юсупов А.Р., Мамаев С.А., Юсупов З.А., Мамаев А.С. Цеолитсодержащие кремнистые породы Дагестана как добавка для получения керамической волластонитсодержа-

щей облицовочной плитки. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т.12. – №4. – С. 142–152.

20. Entropa A.G., Brouwersb H.J.H., Reindersc A.H. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate. // *Energy and Buildings*. – 2010. – Vol. 42. Issue 5. – pp. 618–629.

21. Ivanov K.S. Influence of the methods of preparing silicate-sodium mixture on the formation of the structure of the structure of foam glass ceramics. // *Glass Physics and Chemistry*. – 2019. – Vol. 45. No. 1. – pp. 60–65.

22. Johannes Reichla, Andrea Kollmann. The baseline in bottom-up energy efficiency and saving calculations – A concept for its formalisation and a discussion of relevant options. // *Applied Energy*. – 2011. – Vol. 88. – Issue 2. – pp. 422–431.

23. Guoa W., Qiaoa X., Huang Y., Fanga M., Hanb X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone. // *Energy and Buildings*. – 2012. – Vol. 50. – pp. 196–203.

24. Ma T., Tang T., Ding X., Huang X., Zhao Y. Thermal regime analysis and protective measure evaluation for wide embankment in permafrost regions of Qinghai-Tibet Plateau. // *International Journal of Civil Engineering*. – 2018. – Vol. 16. – pp. 1303–1316.

25. Uygunoğlu T., Keçebaş A. LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks. // *Energy and Buildings*. – 2011. – Vol. 43. – Issue 9. – pp. 2077–2085.

26. Wei Li, Jinzhong Zhu, Zhimin Zhu. The Energy-saving Benefit Evaluation Methods of the Grid Construction Project Based on Life Cycle Cost Theory. // *Energy Procedia*. – 2012. – Vol. 17. –Part A. – pp. 227–232.

References

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Requirements for thermal protection and energy efficiency in the draft updated SNiP “Thermal protection of buildings”. *Construction Materials*. 2011. No. 8. pp. 2–6. (In Russ.)

2. Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. Measures to improve energy efficiency in construction. *Academia. Architecture and construction*. 2010. No. 3. pp. 246–250. (In Russ.)

3. Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Efficient materials and designs to solve the problem of energy saving in buildings. *Housing construction*. 2010. No. 3. pp. 16–20. (In Russ.)

4. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V. Construction systems and features of the use of thermal insulation materials. *Housing construction*. 2015. No. 7. pp. 49–51. (In Russ.)

5. Ivanova A.S., Chernykh V.N. New thermal insulation materials (their properties and areas of application). *Materials of the interuniversity scientific conference. Part 2*. 2003 pp. 116–117. (In Russ.)

6. Konyukhova T.P., Distanov U.G. Technological classification of mixed siliceous zeolite-containing rocks. *Exploration and protection of subsoil*. 2000. No. 9. pp. 45–46. (In Russ.)

7. Kukovsky E.G. Structural features and physicochemical properties of clay minerals. / *Kyiv, Naukova Dumka*, 1966, 132 p. (In Russ.)

8. Mamontov A.A., Yartsev V.P., Strulev S.A. Analysis of the humidity of various insulation materials in the building envelope during operation during the heating season. *Academia. Architecture and construction*. 2013. No. 4. pp.117–119. (In Russ.)

9. Morgun V.N., Morgun L.V., Cherenkova I.A. On the issue of the effectiveness of thermal insulation of facades of civil buildings. *Housing construction*. 2015. No. 4. pp.21–24. (In Russ.)

10. Naumov M.M., Kashkaev I.S., Buz M.A., Sheinman E.Sh. Clay brick technology. *Moscow. Stroyizdat*. 1959. 16 p. (In Russ.)

11. Panov Yu.T., Chizhova L.A., Kudryashov A.V., Panov S.Yu., Pankratov A.V. The influence of density and dispersed fillers on the thermal conductivity of foam plastics. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*. 2008. Vol. 51. Issue. 2. pp. 92–94. (In Russ.)

12. Rogovoy M.I. Technology of artificial porous fillers and ceramics. Moscow. Stroyizdat. 1974. p. 41. (In Russ.)
13. Talpa B.V., Agarkov Yu.V., Bardin Yu.Yu. Siliceous rocks are a new raw material base for the construction industry of the North Caucasus. Exploration and protection of subsoil. No. 11. 1992. pp. 12–14. (In Russ.)
14. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbiev A.B. Low-firing, energy-saving, environmentally friendly technology for the production of ceramic materials based on clay shale. Geology and geophysics of Russian South. 2022. Vol.12. No. 1. pp. 148–161. (In Russ.)
15. Khalikov D.A. Classification of thermal insulation materials by functional purpose. Fundamental research. 2014. No. 11-6. pp. 1287–1291. (In Russ.)
16. Khardikov A.E. Zeolites of the North Caucasus. Rostov-on-Don. Rost. Univ. 2005. 224 p. (In Russ.)
17. Khardikov A.E., Boyko N.I., Agarkov Yu.V. Zeolites of Eastern Ciscaucasia and prospects for their practical use. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 1992. No. 6. pp. 86–91. (In Russ.)
18. Yusupov A.R., Mamaev S.A., Yusupov Z.A., Mamaev A.S. Study of zeolite-containing siliceous rocks of Dagestan to obtain a mineral additive for cement. Bulletin of Geosciences. 2021. No. 10. Issue 322. pp. 42–46. (In Russ.)
19. Yusupov A.R., Mamaev S.A., Yusupov Z.A., Mamaev A.S. Zeolite-containing siliceous rocks of Dagestan as an additive for producing ceramic wollastonite-containing facing tiles. // Geology and geophysics of Russian South. 2022. Vol.12. No. 4. pp. 142–152. (In Russ.)
20. Entropa A.G., Brouwersb H.J.H., Reindersc A.H. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate. Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. Issue 5. pp. 618–629.
21. Ivanov K.S. Insuense of the methods of preparing silicate-sodium mixture on the formation of the structure of foam glass ceramics. Glass Physics and Chemistry. 2019. Vol. 45. No. 1. pp. 60–65.
22. Johannes Reichla, Andrea Kollmann. The baseline in bottom-up energy efficiency and saving calculations – A concept for its formalization and a discussion of relevant options. Applied Energy. 2011. Vol. 88. Issue 2. pp. 422–431.
23. Guoa W., Qiaoa X., Huang Y., Fanga M., Hanb X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone. Energy and Buildings. 2012. Vol. 50. pp.196–203.
24. Ma T., Tang T., Ding X., Huang X., Zhao Y. Thermal regime analysis and protective measure evaluation for wide embankment in permafrost regions of Qinghai-Tibet Plateau. International Journal of Civil Engineering. 2018. Vol. 16. pp. 1303–1316.
25. Uygunoğlu T., Keçebaş A. LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks. Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. Issue 9. pp. 2077–2085.
26. Wei Li, Jinzhong Zhu, Zhimin Zhu. The Energy-saving Benefit Evaluation Methods of the Grid Construction Project Based on Life Cycle Cost Theory. Energy Procedia. 2012. Vol.17. Part A. pp. 227–232.