
ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК: 553.5; 691.42; 691.43

DOI: [10.46698/VNC.2022.71.95.011](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.71.95.011)

Оригинальная статья

Цеолитсодержащие кремнистые породы
Дагестана как добавка для получения
керамической волластонитсодержащей
облицовочной плиткиА. Р. Юсупов , С. А. Мамаев , З. А. Юсупов , А. С. Мамаев Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, Россия, 367010, Республика
Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail.ru

Статья поступила: 29.09.2022, доработана: 26.10.2022, одобрена в печать: 04.11.2022

Резюме: Актуальность работы. Широкое распространение на территории Республики Дагестан имеют *кремнисто – карбонатные породы*, в которых суммарное содержание цеолитов и опал-кристобалит-тридимитовой фазы (ОКТ) превышает 45%, а содержание кальцита выше 30%. Породы, слагающие полезную толщу (по крайней мере, ее большую часть), литологически соответствуют известнякам опоконидным и сильнокремнеземистым, цеолитсодержащим (10-15% цеолитов) и цеолитовым (40% и более), слабоокварцованным и слабоглинистым. Однако от чистых известняков их отличает низкое значение собственно кальцитово-карбонатной части – зачастую менее 50%. Цеолитсодержащие породы пригодны для использования в качестве добавки в монтмориллонитсодержащую глину для получения керамики и улучшения ее физико-механических свойств. Эти породы также можно использовать как добавка в портландцемент. Это позволит повысить качество цемента и сэкономить клинкер. Минерально-сырьевая база кремнистых цеолитсодержащих пород Дагестана позволит создать крупные комплексы по добыче и переработке данных пород. **Цель исследования.** Целью наших исследований является рассмотрение цеолитсодержащих кремнистых пород, как сырья для производства строительных материалов, в соответствии с результатами лабораторно-технологических исследований. Данные породы также можно использовать для получения волластонитсодержащей керамики. **Методы исследований.** Для исследуемого сырья определялись следующие характеристики: пластичность, спекаемость, общая усадка, водопоглощение, прочность при сжатии и изгибе. Методом рентгенографического фазового анализа определялся минеральный состав образцов. Аналитические работы по изучению исследуемых пород выполнены ФГУП «ЦНИИГеолнеруд». **Результаты исследований.** Результаты исследования сырья проб №№ 2, 3 и 4 показали, что оно может применяться в качестве технологической добавки при производстве керамического кирпича методом пластического формования. Добавка в глину Дарвагчайского месторождения цеолитсодержащих пород позволяет устранить явление вспучивания и двухкомпонентные смеси классифицируются как сильно-спекающееся сырье. С увеличением содержания (с 10 до 30%) исследуемых технологических добавок прочность образцов при изгибе возрастает, прочность при сжатии снижается, воздушная и общая усадка уменьшаются, водопоглощение увеличивается. Комплекс данных минералов способствует интенсификации спекания и образованию более пористой структуры керамического черепка.

Ключевые слова. Цеолиты, цеолитсодержащие породы, кремнистые породы, кальцит, глина, опал-кристобалит-тридимит, керамическая плитка, Дагестан, Леваша, Рубасчай.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по темам НИР Рег. номера НИОКТР 1021060808460-6-1.5.6 и 1021060808457-2-1.5.6.

Для цитирования: Юсупов А. Р., Мамаев С. А., Юсупов З. А., Мамаев А. С. Цеолитсодержащие кремнистые породы Дагестана как добавка для получения керамической волластонитсодержащей облицовочной плитки. *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12 (4): 142-152. DOI: 10.46698/VNC.2022.71.95.011.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

DOI: [10.46698/VNC.2022.71.95.011](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.71.95.011)

Original article

Zeolite-containing siliceous rocks of Dagestan as an additive for obtaining ceramic wollastonite-containing facing tiles

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
Yaragsky Str., Makhachkala 367010, Republic of Dagestan, Russian Federation,
e-mail: dangeogis@mail.ru

Received: 29.09.2022, revised: 26.10.2022, accepted: 04.11.2022

Abstract: Relevance. Siliceous-carbonate rocks are widespread in the territory of the Republic of Dagestan, in which the total content of zeolites and opal-cristobalite-tridymite phase (OCT) exceeds 45%, and the calcite content is above 30%. The rocks that make up the useful stratum (at least most of it) lithologically correspond to opoka-like and highly silicic limestones, zeolite-containing (10-15% zeolites) and zeolite (40% or more), weakly silicified and slightly clayey. However, they are distinguished from pure limestones by the low value of the actual calcite part – often less than 50%. Zeolite-containing rocks are suitable for use as an additive in montmorillonite-containing clay to obtain ceramics and improve its physical and mechanical properties. These rocks are also suitable for addition to Portland cement, which will save cement clinker during production and improve the quality of cement. The calculated predictive resources, their laboratory and technological properties indicate the possibility of creating a solid mineral resource base and building large complexes for the extraction and processing of zeolites and siliceous rocks in the Levashinsky and Tabasaran regions of the Republic of Dagestan.

Aim. The purpose of our research is to consider zeolite-containing siliceous rocks as a raw material for the production of building materials, in accordance with the results of laboratory and technological studies. For the first time, these rocks of Dagestan are considered by us as a raw material for obtaining ceramics. **Methods.** For the studied raw materials, the following characteristics were determined: plasticity, sintering, general shrinkage, water absorption, compressive and bending strength. The mineral composition of the samples was determined by X-ray phase analysis. Analytical studies of zeolite-containing and overburden rocks (X-ray quantitative phase analysis; chemical analysis with the determination of amorphous SiO₂; differential thermal analysis and laboratory and technological tests were carried out by the Federal State Unitary Enterprise “TsNIIgeolnerud”. **Results.** The results of the study of raw materials samples No. 2, 3 and 4 showed that it can be used as a technological additive in the production of ceramic bricks by plastic molding. The addition of zeolite-containing rocks to the clay of the Darvagchay deposit makes it possible to eliminate the phenomenon of swelling and two-component mixtures are classified as highly caking raw materials. With an increase in the content (from 10 to 30%) of the studied technological additives, the bending strength of the samples increases, the compressive strength decreases, air and total shrinkage decrease, and water absorption increases. The complex of these minerals contributes to the intensification of sintering and the formation of a more porous structure of the ceramic shard.

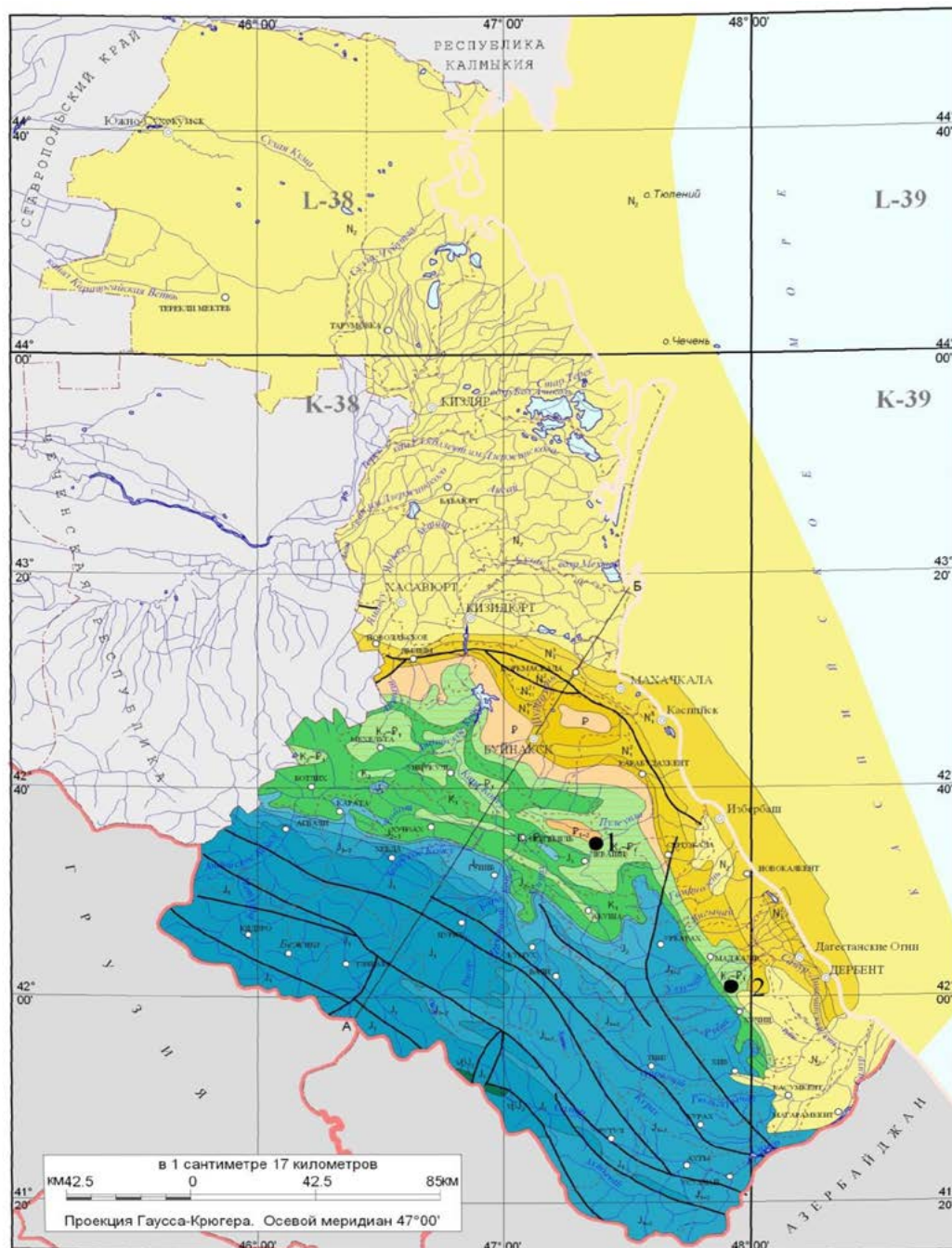
Keywords: Zeolites, zeolite-containing rocks, siliceous rocks, calcite, clay, opal-cristobalite-tridymite, ceramic tiles, Dagestan, Levashi, Rubashchai.

Acknowledgments: The article was prepared within the framework of the state task of the IG DFRC RAS on the topics of R&D Reg. NIOKTR numbers 1021060808460-6-1.5.6 and 1021060808457-2-1.5.6.

For citation: Yusupov A. R., Mamaev S. A., Yusupov Z. A., Mamaev A. S. Zeolite-containing siliceous rocks of Dagestan as an additive for the production of ceramic wollastonite-containing facing tiles. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12 (4): 142-152. DOI:10.46698/VNC.2022.71.95.011.

Введение

Кремнистые цеолитсодержащие породы находят новые области применения в современных условиях строительства разных объектов и сооружений. [Талпа и др., 1992; Харди́ков и др., 1992; Sandberg, 2007; Perezetal., 2007]. Разные компании, использующие цеолитсодержащее сырье, разрабатывают различные методы переработки для многих видов цеолитовой продукции. [Конюхова, Дистанов, 2000; Харди́ков, 2005; Юсупов и др., 2015; Grecnouq, 1953].



● 1 участок Леваши / Levashisite; ● 2 Участок Дюбек / Dubek site

Рис. 1. Геологическая карта Дагестана /

Fig. 1. Geological map of Dagestan

Опал-кристобалит-тридимитовая фаза наряду с цеолитами являются природными сорбентами и характеризуются физико-химическими свойствами, которые существенно дополняют и расширяют спектр физико-химических показателей породы и, в конечном итоге, определяют различные свойства цеолитового сырья для его применения во многих областях [Куковский, 1966; Udinetal., 1949; Gresnouq, 1953].

Применение кремнистых цеолитсодержащих пород для производства керамики основано в измельчении этих пород совместно с глинами различного состава и дальнейшей термической обработке [Зальман, 1959; Мороз, 1972; Наумов и др., 1969; Павлов, 1972; Роговой, 1974; Черняк, Мороз, 1979; Unlandetal., 2003].

Цель работы. Территория Северного Кавказа в частности Республики Дагестан в современных условиях актуальна для создания мощной минерально-сырьевой базы цеолитсодержащих пород [Гусейханов и др., 2016; Талпа и др., 1992; Тотурбиев и др., 2018, 2022; Хардилов, 2005; Хардилов и др., 1992].

Целью данной работы является изучение кремнистых цеолитсодержащих пород опал-кристобалит-тридимитового (ОКТ) состава с содержанием цеолитов (10-50%), для получения волластонитсодержащей керамики, путем добавления их в монтмориллонитсодержащую глину. Данные породы развиты на Левашинском и Рубасчайском участках Республики Дагестан (РД) (рис. 1) [Хардилов и др., 1992; Юсупов и др., 2015]. При растущем строительстве в современных условиях, эти породы могут найти широкое применение.

Методы исследования

Работы по получению облицовочной плитки, отвечающей требованиям ГОСТ 6141-91 «Плитки керамические глазурованные для внутренней облицовки стен», ГОСТ 6787-2001 «Плитки керамические для полов. Технические условия», ГОСТ 13996-93 [Конюхова, Дистанов, 2000; Роговой, 1974] «Плитки керамические фасадные и ковры из них», проводились на материале проб №№ 2, 3, 4. В связи с этим испытания проводились в варианте возможного использования этих пород в качестве добавки в керамическую шихту для облицовочной керамики. В качестве глинистого компонента в шихту добавлялась среднепластичная полиминеральная глина Дарвагчайского месторождения Республики Дагестан.

Для исследуемого сырья (лабораторно-технологическая проба № 1) определялись следующие характеристики: пластичность, спекаемость, общая усадка, водопоглощение, прочность при сжатии и изгибе. Результаты исследований приведены в таблицах 1-4.

По степени пластичности проба относится к группе среднепластичного глинистого сырья. В зависимости от степени спекания проба относится к группе сильноспекающегося глинистого сырья [Куковский, 1966; Наумов и др., 1969; Черняк, Мороз, 1979].

Для проведения керамических испытаний методом полусухого прессования формовались лабораторные образцы (балочки размером 150х40х40 мм) с использованием полусухой схемы подготовки пресспорошка. Высушенное глинистое сырье измельчали на дробилке и из него на лабораторных бегунах готовили пресспорошок, состоящий примерно из 50% фракции 2,5-1 мм и 50% фракции менее 1,25 мм. Влажность пресспорошка составляла 16,4%. Для усреднения влажности пресспорошок выдерживался в течение 1-2 суток. Давление прессования равнялось 25 МПа.

Таблица 1 / Table 1.

Пластичность глинистого сырья / Plasticity of clayraw materials

Пределы пластичности / Plasticlimits		Число пластичности / Plasticity number	Классификация глинистого сырья по числу пластичности / Classification of clay raw materials according to plasticity number
Нижняя граница текучести / Loweryield point	Граница раскатывания / Rolling border		
44	27,6	16,4	Среднепластичное / Mediumplastic

Таблица 2 / Table 2.

Спекаемость глинистого сырья / Caking capacity of clay raw materials

Наименование показателей / The name of indicators	Температура обжига, °C / Firing temperature, °C					Наименование группы глинистого сырья в зависимости от степени спекания / Name of the group of clay raw materials depending on the degree of sintering
	950	1000	1050	1100	1150	
Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	22,53	22,55	23,09	19,98	0,60	Сильно спекающееся / Stronglycaking
Средняя плотность, г/см³ / Averagedensity, g/cm³	1,51	1,51	1,50	1,57	2,08	

Таблица 3 / Table 3.

Описание образцов после обжига / Description of samples after firing

Характеристика образцов / Sample characteristics			
Цвет / Color	Звук/ Sound	Наличие включений / Inclusions	Другие дефекты / Other defects
Оранжево-розовый / Orange-pink	Глухой / Muted	Небольшое включение белого и серого цвета / Slight inclusion of white and gray	Нет / None

Таблица 4 / Table 4.

Физико-механические свойства обожженных образцов (t° обж. – 1000°C) / Physico-mechanical properties of fired samples (to fired – 1000 ° C)

Общая линейная усадка, % / Total linear shrinkage, %	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	Прочность, МПа / Strength, MPa	
		При сжатии / In compression	При изгибе / Bending
4,7	20,6	29,3	6,8

Было отформовано: 1) 10 балочек размером 160x40x40 мм для определения пределов прочности при сжатии и изгибе, водопоглощения и общей усадки; 2) 15 плиток размером 60x30x10 мм для определения спекаемости.

Сушка образцов осуществлялась в помещении лаборатории на стеллажах, затем в сушильном шкафу при температуре 35-105°C.

Обжиг лабораторных образцов проводился при температуре 1000°C в электропечи типа СНОЛ 12/16. Режим обжига: а) подъем температуры от 100 до 250°C, от 250 до 400°C – 2 часа, от 400 до 870°C – 15 часов, от 870 до 1000°C – 3 часа, б) выдержка при конечной температуре – 3 часа; в) охлаждение до 50-60°C – 24 часа.

Обожженные образцы имеют удовлетворительный внешний вид. Общая усадка равна 4,7%, водопоглощение – 20,6%, прочность при сжатии – 29,3МПа, прочность при изгибе – 6,8МПа. Достаточно высокие значения прочностных характеристик позволяют прогнозировать получение стандартного керамического кирпича марки не менее «125».

Методом рентгенографического фазового анализа установлено, что в результате высокотемпературной обработки в керамическом черепке образуются следующие минеральные фазы: модификации диоксида кремния (β – кристобалит – основная фаза, тридимит, кварц) – 54%, волластонит – 36%, минерал из группы акерманит – геленит – 10%.

Результаты работы и их обсуждение

Цеолитсодержащая порода исследовалась как технологическая добавка при получении керамического кирпича способом пластического формования. В полиминеральную кирпичную глину Дарвагчайского месторождения Республики Дагестан порода вводилась в количестве 10, 20 и 30%.

Глина Дарвагчайского месторождения имеет следующий химический состав: SiO_2 –64,62% (в том числе кварца 27,91%), Al_2O_3 –13,60%, Fe_2O_3 –5,59%, CaO –2,61%, MgO –2,05%, Na_2O –1,20%, K_2O –1,82%, SO_3 –0,07%, ппп – 6,92%. Содержание монтмориллонитового компонента составляет 35%. Глина является умереннопластичной (число пластичности равно 14,0), среднedisперсной (содержание частиц размером менее 1 мкм составляет 46,1%), высокочувствительной к сушке.

Лабораторные образцы-балочки размером 160x40x40 мм формовались путем набивки в специальную форму. Высушенное глинистое сырье после дробления на дробилке ДГЩ-160x100 замачивалось до необходимой формовочной влажности (22,9-25,8%). После 1-суточной выдержки из глиномассы формовались образцы. Сушка образцов осуществлялась в помещении лаборатории на стеллажах, затем в сушильном шкафу при температуре 35-100°C. Режим обжига был аналогичен режиму обжига образцов полусухого прессования.

При этом физико-механические характеристики волластонитсодержащих керамических материалов несколько улучшаются. Заметно возрастает значение прочности при изгибе (с 2,0МПа до 5,7-10,4МПа), снижается воздушная (с 10,4% до 8,0-9,5%) и общая (с 11,7% до 8,9-10,5%) усадка. Водопоглощение незначительно увеличивается (с 9,5% до 11,3-14,9%), что является следствием повышенной пористости образцов.

Низкая прочность при изгибе образцов, отформованных из исходной глины Дарвагчайского месторождения, объясняется наличием в образцах обжиговых трещин. Одной из причин их образования может быть повышенное содержание в глине монтмориллонитового компонента.

Прочность образцов при сжатии при применении добавок уменьшается (с 42,2 до 22,5-35,9МПа). Следует отметить, что керамические образцы из исходной глины имеют высокое значение прочности при сжатии. При добавке 10-30% исследуемых пород в Дарвагчайскую глину значение прочности остается на достаточно высоком

уровне и из такой двухкомпонентной смеси можно прогнозировать получение стандартного кирпича марки 100 и выше.

Результаты исследования сырья проб №№ 2, 3 и 4 показали, что оно также может применяться в качестве технологической добавки при производстве керамического кирпича методом пластического формования. В таблицах 5–7 представлены свойства керамики, полученной из 2-компонентной сырьевой смеси (70-90% глинистого сырья Дарвагчайского месторождения и 10-30% цеолитсодержащих пород).

Глина Дарвагчайского месторождения относится к группе неспекающегося сырья. При температуре обжига 1150°C образцы вспучиваются и их средняя плотность снижается до значения 1,81 г/см³. Добавка в глину цеолитсодержащих пород позволяет устранить явление вспучивания, и двухкомпонентные смеси классифицируются как сильноспекающееся сырье (табл. 5). В зависимости от температуры спекания исследуемое сырье относится к группе сырья среднетемпературного спекания.

Керамические лабораторные образцы, полученные из двухкомпонентных сырьевых шихт, имеют удовлетворительный внешний вид, в то время как керамика из исходной глины имеет обжиговые трещины (табл. 6). Формование и обжиг изделий проводились по вышеописанной методике.

Физико-механические характеристики образцов приведены в таблице 7. Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии сырья проб №№ 2, 3 и 4, используемых в качестве технологических добавок, на свойства керамики.

Также значительно возрастает значение прочности при изгибе (с 2,0 МПа до 4,7-11,5 МПа), снижается воздушная (с 10,4% до 7,8-11,3%) и общая (с 11,7% до 8,7-12,3%) усадка. Водопоглощение незначительно увеличивается (с 9,5% до 10,75-15,44%).

Прочность образцов при сжатии при применении добавок уменьшается (с 42,2 до 19,6-37,3 МПа). Исключение составляет проба №4. При ее 10% добавке прочность при сжатии незначительно возрастает (на 1,4 МПа).

Таблица 5 / Table 5.

Спекаемость глинистого сырья / Caking capacity of clay raw materials

№п/п / Item No.	Природа и содержание добавки / Nature and content of the additive	Наименование показате- лей / Name of indicators	Температура обжига, °C / Firing temperature, °C				Группа сырья в зависимо- сти от температуры и сте- пени спекания / Group of raw materials depending on the temperature and degree of sintering
			1050	1100	1125	1150	
1	-	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	8,25	7,07	6,40	1,15	Неспекающееся, средне- темпер. спекания / Non- caking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,97	2,03	2,05	1,81	
2	10% про- бы 2/	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	10,26	10,08	8,90	1,34	Сильноспекающееся, среднетемпер. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,91	1,92	1,94	2,14	
3	20% пробы 2 / samples 2	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	12,07	11,85	10,10	1,05	Сильноспекающееся, среднетемпер. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,86	1,87	1,89	2,12	

4	30% пробы 2 / samples 2	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	13,73	13,30	13,08	0,77	Сильноспекающееся, среднетемп. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,77	1,77	1,77	2,14	
5	10% пробы 3 / samples ³	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	10,70	10,14	7,89	1,29	Сильноспекающееся, среднетемп. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,91	1,92	1,97	1,94	
6	20% пробы 3 / samples ³	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	12,52	12,14	11,98	0,95	Сильноспекающееся, среднетемп. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,82	1,82	1,84	2,03	
7	30% пробы 3 / samples ³	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	13,98	13,54	13,46	0,54	Сильноспекающееся, среднетемп. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,76	1,76	1,76	2,12	
8	10% пробы 4 / samples ⁴	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	9,96	9,29	8,35	1,45	Сильноспекающееся, среднетемп. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,90	1,91	1,96	2,19	
9	20% пробы 4 / samples ⁴	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	11,62	11,05	10,47	1,68	Сильноспекающееся, среднетемп. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,83	1,83	1,86	2,13	
10	30% пробы 4 / samples ²	Водопоглощение, % / Waterabsorption, %	13,17	12,88	12,32	1,80	Сильноспекающееся, среднетемп. спекания / Highlycaking, mediumtemp. sintering
		Средняя плотность, г/см ³ / Average density, g/cm ³	1,76	1,76	1,77	2,09	

Таблица 6. / Table 6.

Описание образцов после обжига / Description of samples after firing

№ п/п / Item No.	Природа и содержание добавки, % / Nature and content of the additive, %	Характеристика образцов / Characteristics of the samples			
		Цвет / Color	Звук / Sound	Наличие включений / Inclusions	Другие дефекты / Other defects
1	-	красно- рыжий / red-red	Глухой / Deaf	Редкие точечные включения белого цвета / Rare whitedot inclusions	Большое количество глубоких (сквозных) трещин / A large number of deep (through) cracks
2	10% пробы 2 / sample 2	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Значительное количество точечных включений белого цвета / Significant amount of whitedots	Без дефектов / Nodefects
3	20% пробы 2 / sample 2	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Большое количество точечных включений белого цвета / A large number of dotted inclusions of white color	Без дефектов / Nodefects
4	30% пробы 2 / sample 2	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Большое количество точечных включений белого цвета / A large number of dotted inclusions of white color	Без дефектов / Nodefects
5	10% пробы 3 / sample 3	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Значительное количество точечных включений белого цвета / A significant number of dotted inclusions of white color	Без дефектов / Nodefects

6	20% пробы 3 / sample 3	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Большое количество точечных включений белого цвета / A large number of dotted inclusions of white color	Без дефектов / Nodefects
7	30% пробы 3 / sample 3	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Большое количество точечных включений белого цвета / A large number of dotted inclusions of white color	Без дефектов / Nodefects
8	10% пробы 4 / sample 4	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Значительное количество точечных включений белого цвета / A significant number of dotted inclusions of white color	Небольшое кол-во нитевидных трещин (2-3 на образце) / Small number of filiform cracks (2-3 persample)
9	20% пробы 4 / sample 4	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Большое количество точечных включений белого цвета / A large number of dotted inclusions of white color	Без дефектов / Nodefects
10	30% пробы 4 / sample 4	Рыжий / Red	Звонкий / Voiced	Большое количество точечных включений белого цвета / A large number of dotted inclusions of white color	Без дефектов / Nodefects

Таблица 7 / Table 7.

**Физико-механические свойства обожженных образцов /
Physical and mechanical properties of fired samples**

№ п/п / Item No.	Природа и содержание добавки / Nature and content of the additive	Линейная усадка, % / Linear shrinkage, %		Водопоглощение, % / Water absorption, %	Прочность, МПа / Strength, MPa	
		Воздушная / Air	Общая / General		При сжатии / In compression	При изгибе / In bending
1	-	10,4	11,7	9,57	42,2	2,0
2	10% 2	9,3	10,2	11,56	36,8	6,8
3	20% 2	8,7	9,5	13,10	29,4	7,9
3	30% 2	8,2	9,0	15,44	19,6	9,3
4	10% 3	9,9	10,8	11,27	37,5	6,4
5	20% 3	8,1	9,6	12,95	30,1	8,0
5	30% 3	7,8	8,7	15,10	26,4	11,9
6	10% 4	11,3	12,3	10,75	43,6	4,7
7	20% 4	9,9	11,0	12,51	37,3	7,2
7	30% 4	8,7	9,4	14,07	26,2	11,5

Выводы

С увеличением содержания (с 10 до 30%) исследуемых технологических добавок прочность образцов при изгибе возрастает, прочность при сжатии снижается, воздушная и общая усадка уменьшаются, водопоглощение увеличивается. Такое влияние исследованных пород на свойства керамики объясняется наличием в их составе различных минералов: монтмориллонита, опал-кристобалита, кальцита и цеолита. Комплекс данных минералов способствует интенсификации спекания и образованию более пористой структуры керамического черепка.

Прогнозная марка керамического кирпича из 2-компонентных сырьевых смесей, содержащих в качестве технологической добавки сырье проб №№ 2; 3 и 4, «100» и выше.

Также эффективным может быть использование данных пород в смеси с плохо спекающимися полиминеральными глинами (керамические образцы из исходного сырья имеют низкие значения прочностных характеристик). В этом случае прочность при сжатии увеличится и марка готовой продукции (керамических стеновых материалов) повысится.

Литература

1. Гусейханов С. М., Юсупов А. Р., Абдуллаев М. Ш., Черкашин В. И. Геологическое строение юго-восточной части Горного Дагестана. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2016. – № 66. – С. 34-40.
2. Зальманг Г. Физико-химические основы керамики. – М.: Госстройиздат, 1959. – С. 108.
3. Конюхова Т. П., Дистанов У. Г. Технологическая классификация смешанных кремнистых цеолитсодержащих пород. // Разведка и охрана недр. – 2000. – № 9. – С. 45-46.
4. Куковский Е. Г. Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов. – Киев: Наукова Думка, 1966. – 132 с.
5. Мороз И. Н. Технология строительной керамики. – Киев: Виша школа, 1972. – 416 с.
6. Наумов М. М., Кашкаев И. С., Буз М. А., Шейнман Е. Ш. Технология глиняного кирпича. – М.: Стройиздат, 1959. – С. 16.
7. Павлов В. Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. – М.: Стройиздат, 1977. – С. 19, 58.
8. Роговой М. И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 41, 228.
9. 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.
10. Тотурбиев Б. Д., Мамаев С. А., Тотурбиева У. Д. Инновационные технологии производства экологически чистых строительных материалов нового поколения. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – № 4. – С. 149-155. DOI:10.23671/VNC.2018.4.20155
11. 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. DOI: 10.46698/VNC.2022.45.82.011.
12. Хардигов А. Э. Цеолиты Северного Кавказа. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2005. – 224 с.
13. Хардигов А. Э., Бойко Н. И., Агарков Ю. В. Цеолиты Восточного Предкавказья и перспективы их практического использования. // Изв. высш. учебн. завед. Геология и разведка. – 1992. – № 6. – С. 86-91.
14. Черняк Л. П., Мороз Б. И. Технология, структурообразование и свойства строительной керамики. – Киев: Знание, 1979. – С. 23.
15. Юсупов А. Р., Черкашин В. И., Алхулаев К. Г. Геолого-генетическая и прогнозно-поисковая модель месторождения цеолитов и цеолитсодержащих пород Нагорного Дагестана. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2015. – Вып. 64. – С. 132-137.
16. Sandberg J. The effect of 4 alkanolamines on pore water composition and strength development of mortar. // Proc. of the 12th Intern. Congress on the Chemistry of Cement. – 2007. – pp. 486-496.
17. Perez J., Nonat A., Garaffault-Gauffinet S., et al. Influence of triisopropanolamine on the physico-chemical and mechanical properties of pure cement pastes and mortars. // Proc. of the 12th Intern. Congress on the Chemistry of Cement. – 2007. – pp. 454-464.
18. Unland G., Meltke K., Popov O., et al. Assessment of the grindability of cement clinker. Part 2. // Cement International. – 2003. – No. 2. – pp. 55-63.
19. Udin H., Shaler A. J., Wuef J. The Surface Fension of Solid Copper, Frans. // AIME. – 1949. – pp. 186-190.

20. Grecnouq L.A. P. Fech Note Met. 151, Royol Aircraft Establishment. // Prescribed in G.A. Geach, «The Fheory of Sinterinq», Proqr. Metal. Phys. – 1953. – No. 4. – p. 174.

References

1. Guseykhonov S. M., Yusupov A. R., Abdullaev M. Sh., Cherkashin V. I. Geological structure of the southeastern part of the Mountainous Dagestan. Proceedings of the Institute of Geology of the DSC RAS. 2016. No. 66. pp. 34-40. (in Russ.)
2. Zalmang G. Physical and chemical foundations of ceramics. Moscow. Gosstroyizdat, 1959. P. 108. (in Russ.)
3. Konyukhova T. P., Distanov U. G. Technological classification of mixed siliceous zeolite-containing rocks. Exploration and protection of mineral resources. 2000. No. 9. pp. 45-46. (in Russ.)
4. Kukovsky E. G. Features of the structure and physico-chemical properties of clay minerals. Kyiv, Naukova Dumka. 1966. 132 p. (in Russ.)
5. Moroz I. N. Technology of building ceramics. Kyiv, Visha Shkola. 1972. 416 p. (in Russ.)
6. Naumov M. M., Kashkaev I. S., Buz M. A., Sheinman E. Sh. Clay brick technology. Moscow. Stroyizdat, 1959. P. 16. (in Russ.)
7. Pavlov V. F. Physical and chemical bases of roasting building ceramics. Moscow. Stroyizdat. 1977. P. 19, 58. (in Russ.)
8. Rogovoi M. I. Technology of artificial porous aggregates and ceramics. Moscow. Stroyizdat. 1974. P. 41, 228. (in Russ.)
9. Talpa B. V., Agarkov Yu. V., Bardin Yu. Yu. Siliceous rocks are a new raw material base for the construction industry in the North Caucasus. Exploration and protection of mineral resources. 1992. No. 11. pp. 12-14. (in Russ.)
10. Toturbiev B. D., Mamaev S. A., Toturbieva U. D. Innovative production technology of new generation building materials. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2018. No. 4. pp. 149-155. (in Russ.) DOI:10.23671/VNC.2018.4.20155.
11. Toturbiev B. D., Mamaev S. A., Toturbiev A. B. Low-burning, energy-saving, environmentally safe technology for producing ceramic materials based on clay shales. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12 (1). pp. 148-161. (in Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2022.45.82.011.
13. Khardikov A. E., Boyko N. I., Agarkov Yu. V. Zeolites of the Eastern Ciscaucasia and prospects for their practical use. *Izv. vyssh. uchebn. zaved. Geology and exploration*. 1992. No. 6. pp. 86-91. (in Russ.)
14. Chernyak L. P., Moroz B. I. Technology, structure formation and properties of building ceramics. Kyiv, Znanie. 1979. P. 23. (in Russ.)
15. Yusupov A. R., Cherkashin V. I., Alkhulaev K. G. Geological-genetic and predictive-search model of the deposit of zeolites and zeolite-containing rocks of Nagorny Dagestan. Proceedings of the Institute of Geology of the DSC RAS. 2015. Issue. 64. pp. 132-137. (in Russ.)
16. Sandberg J. The effect of 4 alkanolamines on pore water composition and strength development of mortar. In: Proc. of the 12 th Intern. Congress on the Chemistry of Cement. 2007. pp. 486-496.
17. Perez J., Nonat A., Garaffault-Gauffinet S., et al. Influence of triisopropanolamine on the physico-chemical and mechanical properties of pure cement pastes and mortars. In: Proc. of the 12th Intern. Congress on the Chemistry of Cement. 2007. pp. 454-464.
18. Unland G., Meltke K., Popov O., et al. Assesment of the grindability of cement clinker. Part 2. *Cement International*. 2003. No. 2. pp. 55-63.
19. Udin H., Shaler A. J., Wuef J. The Surface Fension of Solid Copper, *Frans. AIME*. 1949. pp. 186-190.
20. Grecnouq L. A. P. Fech Note Met. 151, Royol Aircraft Establishment. Prescribed in G.A. Geach, *The Fheory of Sinterinq*, Proqr. Metal. Phys. 1953. No. 4. p. 174.