
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Известия вузов. Строительство. 2024. № 3. С. 46–57.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2024; (3): 46–57.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.41:666.31:539.4

DOI: 10.32683/0536-1052-2024-783-3-46-57

ВЛИЯНИЕ АМОРФНЫХ ФОРМ КРЕМНЕЗЕМА НА КОЛЛОИДАЛЬНОСТЬ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ И ПРОЧНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Ирина Александровна Женжурист¹, Нина Николаевна Морозова²

¹Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

² Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
Казань, Россия

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости коллоидальности глин, одного из важных технологических параметров глин, от введения различных форм аморфного кремнезема. Исследована зависимость коллоидальности от минерального состава глины и формы аморфного кремнезема на примере глин с близким содержанием основных глинообразующих минералов (мас. %): бентонитовой (60 монтмориллонита, 5 слюды), огнеупорной (60 каолинита, 5 слюды) и аморфного кремнезема (диатомита месторождения Инза, микрокремнезема МК-85, силикагеля КСМГ, аэросила А 300). Обнаружено увеличение коллоидальности глины при введении всех форм аморфного кремнезема. Термогравиметрическим методом исследованы составы глиняных композиций. Добавка аморфного кремнезема в глину меняет поведение глинистой композиции в процессе нагрева. При выборе модифицирующей добавки аморфного кремнезема необходимо учитывать минеральный состав глины. На коллоидальность глины оказывает влияние вид аморфного кремнезема. Введение аморфного кремнезема в глину повышает прочность материала после обжига. Результаты исследования позволяют выбрать доступный модификатор глин с учетом их минерального состава для различных областей керамической промышленности.

Ключевые слова: коллоидальность, прочность, термоанализ, бентонитовая, огнеупорная глина, микрокремнезем, силикагель, диатомит, аэросил

Для цитирования: Женжурист И.А., Морозова Н.Н. Влияние аморфных форм кремнезема на коллоидальность глинистого сырья и прочность керамического материала // Известия вузов. Строительство. 2024. № 3. С. 46–57. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-783-3-46-57.

Original article

INFLUENCE OF AMORPHOUS FORMS OF SILICA ON THE COLLOIDALITY OF CLAY RAW MATERIAL AND STRENGTH CERAMIC MATERIAL

Irina A. Zhenzhurist¹, Nina N. Morozova²¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia²Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

Abstract. The paper presents the results of experimental studies of the dependence of clay colloidalness, one of the important technological parameters of clays, on the introduction of various forms of amorphous silica. The dependence of colloidalness on the mineral composition of clay and the form of amorphous silica was studied. On the example of clays with a close content of the main clay-forming minerals (mas.%): bentonite (60 montmorillonite, 5 mica) and refractory (60 kaolinite, 5 mica) and amorphous silica (diatomite of Inza deposit, microsilica MK-85, silica gel KSMG, aerosil A 300). An increase in clay colloidalness was found with the introduction of all forms of amorphous silica. The compositions of clay compositions were investigated by thermogravimetric method. The addition of amorphous silica to clay changes the behavior of the clay composition during heating. When choosing a modifying additive of amorphous silica, it is necessary to take into account the mineral composition of clay. The colloidalness of clay is influenced by the type of amorphous silica. Introduction of amorphous silica into clay increases the strength of the material after firing. The results of the research allow to choose an available modifier of clays taking into account their mineral composition for different areas of ceramic industry.

Keywords: colloidalness, strength, thermal analysis, bentonite, refractory clay, microsilica, silica gel, diatomite, aerosil

For citation: Zhenzhurist I.A., Morozova N.N. Influence of amorphous forms of silica on the colloidalness of clay raw material and strength ceramic material. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2024; (3): 46–57. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2024-783-3-46-57.

1. Введение. Глинисто-кремнеземистые композиции широко распространены в Российской Федерации и являются сырьем для большого ассортимента изделий огнеупорной, строительной, электротехнической керамики, грунтом для автомобильных дорог и установок нефтяных месторождений. Дефицит качественного глинистого сырья в различных отраслях керамической промышленности, возникающие проблемы при строительстве автомобильных дорог на нестабильных глинистых грунтах [1–4] и разработки на них нефтяных месторождений [5, 6] вызывают большой интерес исследователей к поиску направлений их решения.

Технологические проблемы в производстве керамических материалов, эксплуатация глинистых композиций в других отраслях промышленности связаны с разнообразием по качеству месторождений глин и почв на их основе. При насыщении глины водой появляется эффект набухания, с которым связаны такие свойства керамических масс, как пластичность и чувствительность к сушке.

Кремнезем входит в состав всех месторождений глин, определяет основные свойства керамических масс и прочность материала после обжига.

В составе глинистой композиции в кристаллической и аморфной форме он влияет на образование стеклофазы при спекании сырьевой композиции и формирование конечного фазового состава материала. Присутствие кремнезема и минеральный состав глины являются главными показателями качества глинистого сырья и воздействуют на все этапы получения керамического материала.

Роль кристаллического и аморфного типа кремнезема при формировании структуры и свойств силикатных материалов рассматривалась многими авторами [7, 8]. Отмечена эффективность применения коллоидного кремнезема для укрепления грунтов [7]. Для керамической технологии важно определить действие минерального состава глины и формы кремнезема на технологические свойства композиции, структуру и характеристики обожженного изделия. Полученные данные позволяют корректировать характеристики природных глин в направлении, необходимом для конкретного использования, подбирать модификатор с учетом аморфного кремнезема и минерального состава месторождения глины.

При изучении влияния вида и дисперсности компонентов сырьевой смеси на формирование конечных свойств материала установлена значимость связи состав–технология–структура–свойства [9]. Изменения в начале данной цепи приводят к кардинальному преобразованию конечных свойств материала. С этих позиций для керамической технологии особое внимание уделяется способности глин к набуханию (коллоидальности) – свойству глин, связанному с минеральным составом и отношением ее к воде, от которой может зависеть выбор технологии производства керамического материала.

Известна повышенная химическая активность аморфных форм кремнезема [10, 11]. Отдельные его формы, особенно такие, как природный диатомит и микрокремнезем (МКЗ) – отход производства ферросилиция, исследованы достаточно широко в качестве добавки в керамические и силикатные массы [10–12]. Изучалось использование аморфного кремнезема в структурообразовании глинистых почв [8].

Каждая форма аморфного кремнезема из-за особенностей своего строения и химической активности может по-разному взаимодействовать с глиной на стадии приготовления сырьевой композиции, оказывать влияние на все этапы технологического процесса производства материала и образование фазовой структуры материала в процессе обжига.

Цель работы – изучение влияния различных форм аморфного кремнезема на коллоидальность глин с учетом их минерального состава и прочность материала после обжига.

2. Материалы и методы исследования. Для экспериментальной работы были выбраны глины близкого химического состава, но отличающиеся содержанием основного глинообразующего минерала (мас. %): нурлат-октябрьский бентонит (60 монтмориллонита, 5 слюды), ниже-увельская огнеупорная глина (60 каолинита, 5 слюды). Химический состав глин находится в пределах (мас. %): 55–57 SiO₂, 22–28 Al₂O₃, 5–7 Fe₂O₃, 2–4 CaO + MgO, 1–2 K₂O + Na₂O [13].

В качестве модификатора глин брали образцы аморфного кремнезема с его содержанием (мас. %): диатомит месторождения Инза (80), микрокремне-

зем марки МК-85 (85), силикагель КСМГ – гель кремниевой кислоты (95), аэросил А 300 (99).

Для исследования композиций использовали оборудование материалovedческого центра ТГУ, СФТИ г. Томск: дифрактометр Shimadzu XRD 6000, ТГ-ДТА/ДК-анализатор (QMS 403 C), для микросъемки изломов образцов Quanta 200 3D.

Глинистые минералы, образующие основу глин, относят к полиэлектролитам из-за химически связанной воды [14]. Глины из-за гидрофильной поверхности, способности к ионному, сорбционному обмену причисляют к коллоидным системам. Способность глин к набуханию и связанная с ней пластичность зависят не только от дисперсности глинистой композиции (содержания песчаной, пылевой и глинистой фракций), но и от минерального состава (содержания каолинита, монтмориллонита, гидрослюда и др.). Изучению процесса набухания глин, его связи с катионным обменом, пластичностью посвящены работы [15–17]. Учитывая межслоевую полярность глинистых минералов, важно проверить реакцию глины на присутствие аморфного кремнезема, каждая форма которого имеет определенную микроструктуру и заряд на своей поверхности.

Полярные частицы аморфного кремнезема могут взаимодействовать со всеми частицами, указывающими на грануляционный состав глины, и влиять на процесс набухания и формирование коллоидной составляющей глинистой суспензии в водной среде.

Для изучения процесса набухания глины в присутствии аморфного кремнезема были учтены главные положения методики обнаружения коллоидальности глины и свободного набухания грунтов. Поскольку минеральный состав глины оказывает значительное влияние на коллоидальность глин, то в основу исследования была положена методика определения коллоидальности глин.

Коллоидальность глин связана с катионным обменом в межслоевом пространстве минералов. По данной методике в глинистую суспензию добавляют оксид магния, который приводит к замещению одновалентных катионов глинистых минералов и процессам коагуляции глинистых частиц.

Коллоидный кремнезем в водной среде представляет собой суспензию кремнеземистых образований по размерам, сравнимым с коллоидными частицами [7, 17], и может оказывать влияние на процесс набухания глины в водной среде.

Учитывая эти положения, проводили изучение процесса набухания глинистой композиции. Пробу глины 0,5 г, размолотую и просеянную (сито 0,5), засыпали в цилиндр, заливали 15 см³ дистиллированной водой, взбалтывали, чтобы получилась однородная суспензия. После диспергирования глины в воде добавляли 0,1 г окиси магния. С целью исключения влияния постороннего оксида глинистой композиции в суспензию вводили 0,1 г аморфного кремнезема, повторно взбалтывали, оставляли на сутки. Величину коллоидальности глины (%) вычисляли как частное от деления объема осадка глины в цилиндре (см³) на объем глины и воды в цилиндре (см³), умноженное на 100. Одновременно устанавливали действие оксида магния на коллоидальность каждой глины.

Для нахождения прочности обожженных образцов глину смешивали (растирали) с добавкой кремнезема для составов, показавших наибольшую

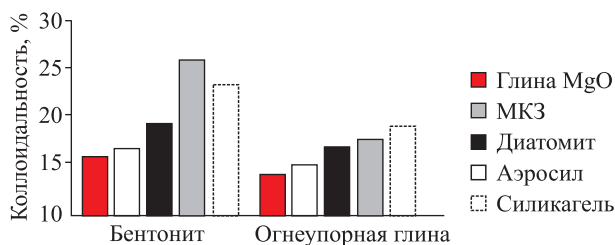


Рис. 1. Зависимость коллоидальности глинистой композиции от вида добавки аморфного кремнезема

Fig. 1. Dependence of colloidality of clay composition on the type of amorphous silica additive

коллоидальность глинистой композиции. Глинистую массу увлажняли до пластической влажности (22–23 %), сутки вылеживали. После вылеживания глиняная масса уплотнялась. Готовили образцы для испытания на сжатие и усадку (кубики размером ребра 25 мм, пластины 50×50×5 мм), сушили до влажности 7–9 %. Образцы обжигали в муфельной печи до температуры 1050 °С, выдерживали 40 мин и охлаждали вместе с печью.

3. Результаты и обсуждение. Степень коллоидальности глинистой композиции при добавке аморфного кремнезема 0,1 г показана на рис. 1. Согласно результатам испытания, каждая форма аморфного кремнезема проявляет разную активность при взаимодействии с глиной.

Для бентонитовой глины, содержащей двухслойный однополярный минерал монтмориллонит, наибольшая коллоидальность получена при добавлении МКЗ и силикагеля, уровень коллоидальности выше для всех форм аморфного кремнезема, чем добавка оксида магния. Для огнеупорной глины уровень коллоидальности ниже, чем у бентонитовой глины. Наибольшую активность при взаимодействии с огнеупорной глиной проявил силикагель.

Для двух форм аморфного кремнезема, проявивших высокую коллоидальность, определяли наиболее эффективное количество добавки в глину в пересчете на сухое вещество (рис. 2, а).

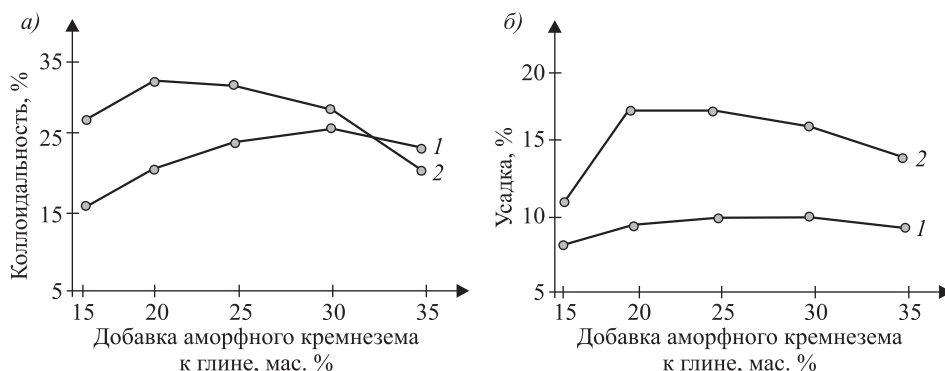


Рис. 2. Зависимость коллоидальности глинистой композиции (а) и усадки глины (б) от количества добавки кремнезема

1 – огнеупорная глина с силикагелем; 2 – бентонитовая глина с МКЗ

Fig. 2. Dependence of colloidality of clay composition (а) and of clay shrinkage (б) on the amount of silica gel addition

1 – refractory clay with silica gel; 2 – bentonite clay with MCZ

Наибольшая коллоидальность получена для бентонитовой глины с добавкой 20 % МКЗ, для огнеупорной глины с 30 % силикагеля. Уровень набухания огнеупорной глины ниже, чем у бентонитовой.

Образцы, изготовленные из композиции бентонитовой глины с разными формами аморфного кремнезема, показали хорошую формуемость, большую уплотняемость массы, отсутствие трещин на образцах. Масса с добавкой МКЗ хорошо формовалась и быстрее всех высыхала. Образцы из бентонитовой глины без МКЗ имели проблемное формование (прилипаемость массы) и наличие трещин в процессе сушки. Для композиций из огнеупорной глины и глины с силикагелем и другими формами аморфного кремнезема не замечено особенных отличий при формовании и сушке образцов.

Усадку при сушке определяли для образцов двух глин с МКЗ и силикагелем (рис. 2, б). Из графика видно, что добавка аморфного кремнезема в бентонитовую глину заметно увеличивает усадку, но не вызывает появления дефектов на образцах. У огнеупорной глины усадка почти не изменилась.

Для составов, показавших наибольшую коллоидальность, определяли прочность образцов при сжатии и сравнивали с прочностью образцов из глины без добавки аморфного кремнезема (рис. 3).

Введение аморфного кремнезема в глину повышает прочность керамического материала. Значительно увеличивается прочность образцов на основе бентонитовой глины и МКЗ. Для композиции из огнеупорной глины с силикагелем уровень прочности намного ниже, но выше, чем для чистой глины.

Для составов на основе бентонитовой глины чистой, с 20 % и 35 % МКЗ был проведен термический анализ сырьевой композиции (рис. 4).

По кривым ДСК композиций на основе бентонитовой глины можно сделать вывод о существенных отличиях поведения при нагреве бентонитовой глины и глины с МКЗ. При добавлении в глину МКЗ снижается и при 30 % не наблюдается эндотермический процесс удаления кристаллизационной воды и начала разложения минеральной составляющей глины.

В глинисто-кремнеземистой композиции минеральная составляющая глины наиболее активно участвует в процессе спекания, а среди кремнеземов таковыми являются аморфные формы. Судя по кривым ДСК (рис. 4), у композиции бентонитовой глины с МКЗ при увеличении содержания МКЗ (20 %) в диапазоне 800–1000 °С фазовые преобразования проходят без большой потери массы и к 35 % МКЗ не наблюдаются. В диапазоне температур 1000–1050 °С на ДСК кривой состава с 35 % МКЗ отмечены последовательные эндотермические процессы фазовых преобразований в структуре материала.

Образец из бентонитовой глины с 20 % МКЗ, обожженный при температу-

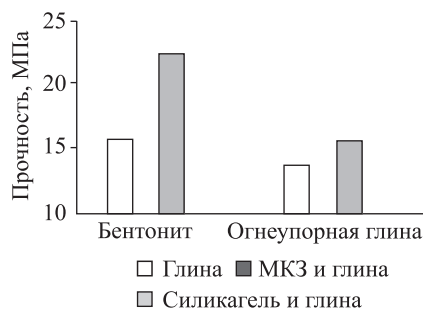


Рис. 3. Прочность образцов с добавкой аморфного кремнезема

Fig. 3. Strength of specimens with amorphous silica addition

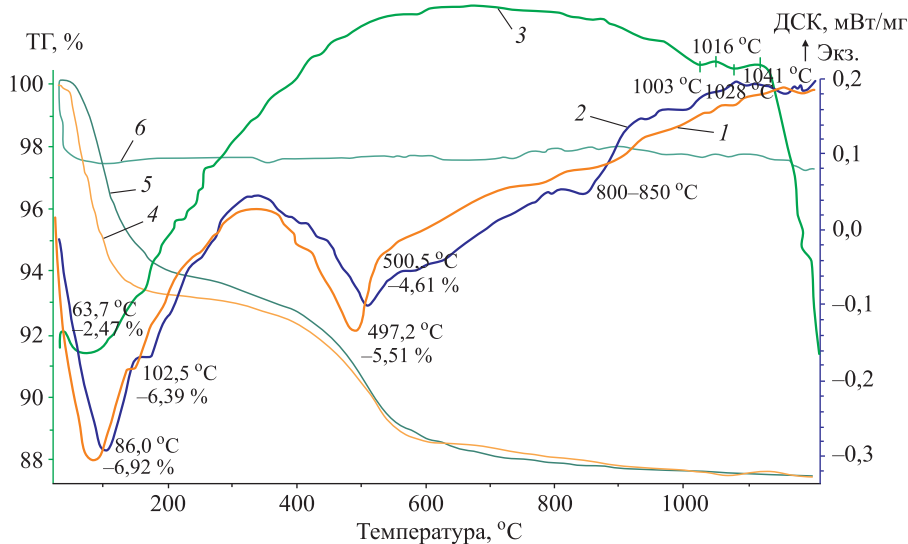


Рис. 4. Термограммы 1–3 – ДСК, 4–6 – ТГ: бентонита (1, 4), бентонита с 20 % МКЗ (2, 5) и бентонита с 35 % МКЗ (3, 6)

Fig. 4. Thermograms 1–3 – DSC, 4–6 – TG: bentonite (1, 4), bentonite with 20 % MCZ (2, 5), and bentonite with 35 % MCZ (3, 6)

ре 1050 °С, исследовали методом рентгенофазового анализа, показавшего наличие на фоне 94,7 % SiO_2 кристобалита – 5,3 % $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ каолинита и 20 % аморфной фазы. Спектры бентонитовой глины с МКЗ представлены на рис. 5.

Дифференциально-термический анализ композиции огнеупорной глины с 30 % силикагеля не выявил значительных отличий (рис. 6).

Результаты термического анализа показывают для состава огнеупорной глины с 30 % силикагеля смещение эндотермического процесса удаления кристаллизационной воды и разложения глинистых минералов с пиком в 503 °С и экзотермического процесса образования силлиманита с пиком в 942,5 °С в зону более низких температур по сравнению с чистой глиной.

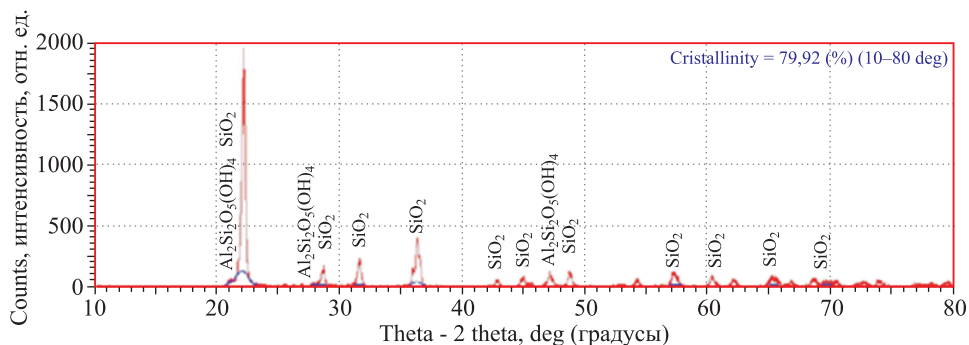


Рис. 5. Спектр бентонитовой глины с МКЗ и выделенной аморфной фазой
Fig. 5. Spectrum of bentonite clay with MCZ and separated amorphous phase

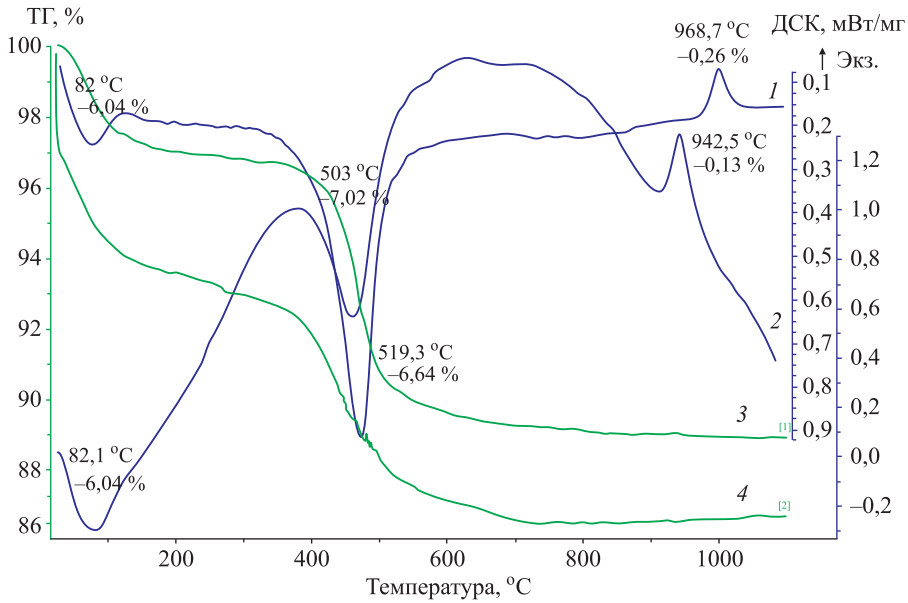


Рис. 6. Термограммы 1, 2 – ДСК, 3, 4 – ТГ: огнеупорная глина (1, 3), огнеупорная глина и 30 % силикагеля (2, 4)

Fig. 6. Thermograms 1, 2 – DSC, 3, 4 – TG: refractory clay (1, 3), refractory clay and 30 % silica gel (2, 4)

Рентгенофазовый анализ обожженного при 1050 °С образца из огнеупорной глины с 30 % силикагеля показал наличие 6,1 % Al_2SiO_5 , 93,9 % SiO_2 , следы Al_2O_3 и 26 % аморфной фазы (рис. 7).

Изломы образцов, обожженных при 1050 °С, из бентонитовой глины с 20 % МКЗ и огнеупорной глины с 30 % силикагеля с максимальной прочностью, были отправлены на микроскопический анализ (рис. 8).

Видна повышенная плотность массы образца из бентонита с 20 % МКЗ. У него наибольшая прочность при сжатии и наибольшая усадка при сушке. Образец из огнеупорной глины с силикагелем имел менее плотную и более крупнозернистую структуру.

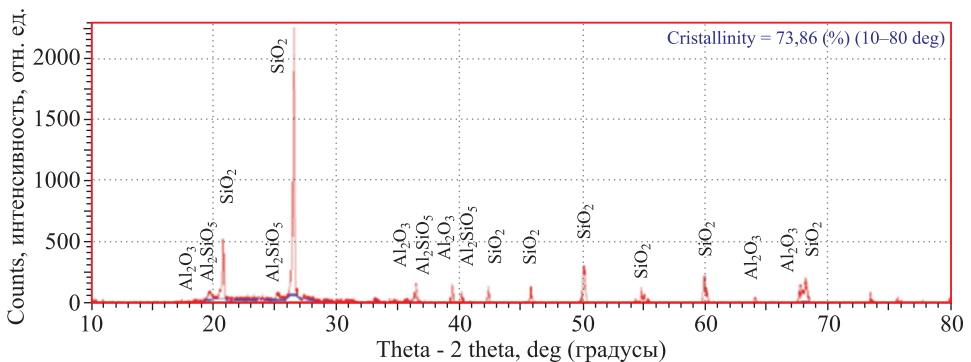


Рис. 7. Спектр огнеупорной глины с силикагелем и аморфной фазой

Fig. 7. Spectrum of refractory clay with silica gel and amorphous phase

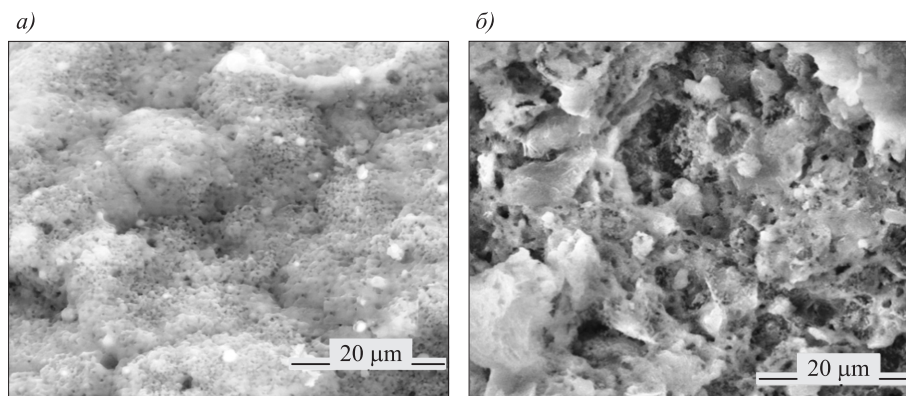


Рис. 8. Микрофотографии изломов образцов бентонитовой глины с МКЗ (а); огнеупорной глины с силикагелем (б)

Fig. 8. Microphotographs of fractures of samples bentonitic clay with MCZ (a); refractory clay with silica gel (b)

4. Выводы. 1. Введение аморфного кремнезема в глину приводит к увеличению ее коллоидальности.

2. От вида аморфного кремнезема зависят технологические характеристики глинистого сырья и прочность обожженного изделия.

3. Высокую активность к бентонитовой глине показал МКЗ, который влияет на фазовые преобразования глины при нагреве (снижает величину эндотермического процесса в диапазоне температур 450–550 °С удаления кристаллизационной воды и разложения глинистых минералов). При введении 35 % МКЗ в диапазоне температур 1000–1050 °С отмечены эндотермические пики фазовых преобразований. По данным рентгенофазового анализа в образце, обожженном при температуре 1050 °С, формируется микроструктура с повышенным показателем прочности.

4. Введение силикагеля в огнеупорную глину снижает температурный диапазон прохождения эндо- и экзотермических процессов преобразования фаз, интенсифицирует начало образования обжиговых фаз в диапазоне температур 900–1000 °С. Введение силикагеля в огнеупорную глину приводит к повышению прочности материала.

Список источников

1. *Салахов Р.Р.* Химические методы стабилизации глинистых грунтов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2023. № 3. С. 59–64.
2. *Sinha P., Iyer K.R.* Effect of Stabilization on Characteristics of Subgrade Soil: A Review // *Advances in Computer Methods and Geomechanics*. 2020. Vol. 55. P. 667–682.
3. *Barman D., Dash S.K.* Stabilization of expansive soils using chemical additives: A review // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2022. Vol. 14, no. 4. P. 1319–1342.
4. *Pooni J., Robert D., Giustozzi F.* Stabilisation of expansive soils subjected to moisture fluctuations in unsealed road pavements // *International Journal of Pavement Engineering*. 2020. Vol. 23, no. 3. P. 558–570.

5. Минаков А.В., Пряжников М.И., Сулемана Я.Н., Мешкова В.Д. Экспериментальное исследование влияния добавки наночастиц оксида кремния на характеристики смачиваемости нефтью горной породы // Письма в журнал технической физики. 2020. Т. 46. Вып. 24. С. 30–32.
6. Галажов Е.Г., Жунусова Э.Б., Аронова А.А., Изгалиев С.А. Физико-механические свойства укрепленного супесчаного глинистого грунта на основе нефтешлама месторождения «Кырыкмылтык» // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12, № 1. С. 1–7.
7. Исрафилов К.А., Газданов Д.В., Алексеев В.А. Особенности закрепления неустойчивых грунтов минеральными коллоидными суспензиями // Системные технологии. 2020. Т. 3, № 36. С. 46–50.
8. Akhmadjonov A.A., Kadyrova Z.R., Anvarov A.B. The Replacement of Quartz Sand with Microsilica for Obtaining Glass Materials // Int. Journ. of Current. Science Research and Review. Section: Physical, Chemical Sciences, Engineering & Technology. 2023. Vol. 6, no. 8. P. 5940–5944.
9. Эминов А.А. Влияние глинистого компонента на термомеханические свойства огнеупорной массы // Узбекский химический журнал. 2022. № 3. С. 46–51.
10. Нелюбова В.В., Кузьмин Е.О., Строчкова В.В. Структура и свойства нанодисперсного кремнезема, синтезированного золь-гель методом // Строительные материалы. 2022. № 12. С. 38–44.
11. Потапов В.В., Горев Д.С. Физико-химические характеристики нанокремнезема (золь, нанопорошок) и микрокремнезема // Фундаментальные исследования. 2018. № 6. С. 23–29.
12. Макарова И.А., Либеровская С.В. Кислотостойкие и теплоизоляционные керамические материалы на основе микрокремнезема // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9, № 4. С. 742–753.
13. Женжурист И.А. Влияние минерального состава глины на процесс спекания алюмосиликата в поле СВЧ // Неорганические материалы. 2020. Т. 56, № 8. С. 923–928.
14. Корнев В.А., Рыбаков Ю.Н. Анализ структуры различных бентонитов и возможности их использования в качестве сорбентов нефтепродуктов // Проблемы современной науки и образования. 2016. № 1(43). С. 84–87.
15. Caceres J.R. Analysis of the ratio between the plasticity of clay and the expansion capacity by changes in humidity and temperature // J. Phys.: Conf. Ser. 2021. Vol. 2139, no. 1. P. 012010.
16. Sanchez J., Caceres J.R., Rojas J.P. Determination of expandability clay from San Jose de Cucuta metropolitan area, by varying calcination temperature and time // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. Vol. 1388. P. 012012.
17. Самарин Е.Н., Родькина И.А., Кравченко Н.С. Токсичность инъекционных материалов, используемых при мелиорации грунтов // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 10. С. 66–71.

References

1. Salakhov R.R. Chemical methods of stabilization of clayey soils. *Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya = Transport. Transportation facilities. Ecology*. 2023; (3): 59–64. (In Russ.).
2. Sinha P., Iyer K.R. Effect of Stabilization on Characteristics of Subgrade Soil: A Review. *Advances in Computer Methods and Geomechanics*. 2020; 55: 667–682.
3. Barman D., Dash S.K. Stabilization of expansive soils using chemical additives: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2022; 14(4): 1319–1342.

4. Pooni J., Robert D., Giustozzi F. Stabilisation of expansive soils subjected to moisture fluctuations in unsealed road pavements. *International Journal of Pavement Engineering*. 2020; 23 (3): 558–570.
5. Minakov A.V., Pryazhnikov M.I., Sulemana Ya.N., Meshkova V.D. Experimental study of the effect of the addition of silicon oxide nanoparticles on the characteristics of oil wettability of rock. *Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki = Letters to the Journal of Technical Physics*. 2020; 46(24): 30–32. (In Russ.).
6. Galazhov E.G., Zhunusova E.B., Aronova A.A., Izgaliev S.A. Physical and mechanical properties of reinforced sandy loam clay soil on the basis of oil sludge field “Kyrykmyltyk”. *Vestnik Evraziatskoy nauki = Bulletin of Eurasian Science*. 2020; 12(1): 1–7. (In Russ.).
7. Israfilov K.A., Gazdanov D.V., Alekseev V.A. Features of consolidation of unstable soils by mineral colloidal suspensions. *Sistemnyye tekhnologii = System Technologies*. 2020; 3 (36): 46–50. (In Russ.).
8. Akhmadjonov A.A., Kadyrova Z.R., Anvarov A.B. The Replacement of Quartz Sand with Microsilica for Obtaining Glass Materials. *Int. Journ. of Current. Science Research and Review. Section: Physical, Chemical Sciences, Engineering & Technology*. 2023; 6 (8): 5940–5944.
9. Eminov A.A. Influence of clay component on thermomechanical properties of refractory mass. *Uzbekskiy khimicheskij zhurnal = Uzbek Chemical Journal*. 2022; (3): 46–51. (In Russ.).
10. Nelyubova V.V., Kuzmin E.O., Strokova V.V. Structure and properties of nanodispersed silica synthesized by sol-gel method. *Stroitel'nyye materialy = Construction Materials*. 2022; (12): 38–44. (In Russ.).
11. Potapov V.V., Gorev D.S. Physicochemical characteristics of nanosilica (sol, nanopowder) and microsilica. *Fundamental'nyye issledovaniya = Fundamental Research*. 2018; (6): 23–29. (In Russ.).
12. Makarova I.A., Liberovskaya S.V. Acid-resistant and heat-insulating ceramic materials based on microsilica. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real Estate*. 2019; 9(4): 742–753. (In Russ.).
13. Zhenzhurist I.A. Influence of mineral composition of clay on the process of sintering of aluminosilicate in the microwave field. *Neorganicheskiye materialy = Inorganic Materials*. 2020; 56 (8): 923–928. (In Russ.).
14. Kornev V.A., Rybakov Yu.N. Analysis of the structure of various bentonites and the possibility of their use as sorbents of oil products. *Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya = Problems of modern science and education*. 2016; (1): 84–87. (In Russ.).
15. Caceres J.R. Analysis of the ratio between the plasticity of clay and the expansion capacity by changes in humidity and temperature. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021; 2139 (1): 012010.
16. Sanchez J., Caceres J.R., Rojas J.P. Determination of expandability clay from San Jose de Cucuta metropolitan area, by varying calcination temperature and time. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2019; 1388: 012012.
17. Samarin E.N., Rodkina I.A., Kravchenko N.S. Toxicity of injection materials used in soil reclamation. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2018; 22(10): 66–71. (In Russ.).

Информация об авторах

И.А. Женжурист – кандидат технических наук, доцент, ir.jenjur@yandex.ru

Н.Н. Морозова – кандидат технических наук, доцент, ninamor@mail.ru

Information about the authors

I.A. Zhenzhurist – PhD, Ass. Professor, ir.jenjur@yandex.ru

N.N. Morozova – PhD, Ass. Professor, ninamor@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.01.2024
Одобрена после рецензирования 26.02.2024
Принята к публикации 04.03.2024

The article was submitted 26.01.2024
Approved after reviewing 26.02.2024
Accepted for publication 04.03.2024