

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-8-116-124

^{1,*}Сутакова Э.М., ²Тагров В.Н., ³Васильева Т.И.¹Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова²Институт физико-технических проблем Севера им В.П.

Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук

³Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения

Российской академии наук

*E-mail: em.sutakova@s-vfu.ru

ЩЕЛОЧНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Аннотация. Исследование посвящено решению актуальной проблемы низких пластичных свойств глинистого сырья Санниковского месторождения (Республика Саха (Якутия)), ограничивающих его применение в производстве строительной керамики. В качестве метода модификации свойств сырья исследуется щелочная обработка водными растворами карбоната натрия в разных концентрациях. Санниковское месторождение глинистого сырья может применяться при производстве строительных материалов благодаря своему химико-минералогическому составу и удобному месторасположению. В ранних статьях мы писали о трех месторождениях самых востребованных глин - по месту добычи (в окрестностях города Якутска), эти месторождения характеризуются большим объемом, но они кардинально отличаются друг от друга, по своему минеральному и химическому составу. Все эти месторождения объединяет одна общность – данные глины, характеризуются не высокими пластичными свойствами, что приводит к погрешностям при изготовлении керамического изделия. При исследовании применили дополнительные методы анализа, такие как исследование электрохимических свойств сырья и суспензий, также были исследованы адсорбционные свойства сырья. Установлено, что исследуемое сырьё характеризуется высоким содержанием каркасных алюмосиликатов (плагиоклаз и калиевые полевые шпаты) и наличием глинистых минералов гидрослюдистого типа (иллит, хлорит), что обуславливает низкие значения адсорбционной способности и пластичности. Изучено влияние карбоната натрия на электрохимические свойства водных суспензий глины, показано увеличение отрицательного значения дзета-потенциала и повышение pH среды с ростом концентрации Na_2CO_3 , что связано с протеканием ионного обмена и повышением устойчивости дисперсной системы. Проведены испытания керамических образцов, обожжённых при температуре 950 °С, на водопоглощение и предел прочности при изгибе. Установлено, что максимальное значение прочности (8,50 МПа) достигается при добавке 10 % раствора карбоната натрия, тогда как минимальное водопоглощение (10,51 %) наблюдается при концентрации 15 %, что свидетельствует о комплексном и неоднозначном влиянии щелочной модификации на формирование структуры керамического черепка и необходимости выбора оптимальной концентрации модификатора в зависимости от целевого назначения материала.

Ключевые слова: глина, щелочная модификация, карбонат натрия, дзета-потенциал, рентгенофлуоресцентный анализ, рентгенодифракционный количественный анализ, термический анализ.

Введение. Развитие региональной строительной индустрии напрямую связано с использованием местных сырьевых ресурсов, что позволяет снизить логистические издержки и повысить экономическую эффективность производства. Санниковское месторождение глинистого сырья, расположено вблизи г. Якутска, представляет значительный интерес для производства керамических строительных материалов благодаря своим значительным запасам и развитой транспортной инфраструктуре. Однако практическое использование данных глин сопряжено с серьезной технологической проблемой, общей для многих месторождений региона: они характеризуются низкой пластичностью [1–2].

Низкая пластичность приводит к ухудшению формовочных характеристик керамической массы, повышению хрупкости сырца и, как следствие, к увеличению брака на стадии производства готовых изделий. Это существенно ограничивает потенциал сырья и требует поиска эффективных и экономически целесообразных методов модификации его свойств.

Сейчас сырьё все еще обладает потенциалом для дальнейшей добычи с целью изготовления керамических материалов, не только для применения в строительной керамике, но и для получения новых перспективных материалов, которые можно использовать в энергетике, в химической промышленности в качестве пористых мембран и т.д. [3–5].

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является щелочная модификация глинистого сырья. В качестве модификатора особый интерес представляет карбонат натрия (Na_2CO_3). Данный реагент является доступным, относительно дешевым и экологически безопасным, так как продукты его термического разложения нетоксичны. Известно, что ионы натрия, поступающие в систему, способны вступать в реакции ионного обмена с катионами кальция в глинистой матрице, что может положительно влиять на реологические свойства суспензий и пластичность теста. Кроме того, карбонат натрия проявляет флюсующие свойства, снижая температуру плавления кремнезема и способствуя образованию жидкой фазы при обжиге, что в конечном итоге может улучшить плотность и прочностные характеристики готового керамического черепка [6–10].

Целью данного исследования является улучшение физико-механических свойств керамических черепков на основе глинистого сырья Санниковского месторождения путем его щелочной модификации карбонатом натрия.

Материалы и методы. Изучение минералогического и химического состава сырья выполняли на базе Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук.

Определение концентрации порообразующих химических элементов в пробах выполняли методом рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) на спектрометре последовательного действия Axios Advanced производства компании PANalytical (Нидерланды). Спектрометр снабжен рентгеновской трубкой мощностью 4 кВт с Rh анодом. Максимальное напряжение на трубке – 60 кВ; максимальный анодный ток – 160 мА. Потери при прокаливании определялись при 1000 °С, в атмосфере воздуха до установления постоянной массы образца.

Рентгенодифракционный количественный анализ проводился при помощи рентгеновского дифрактометра DX-2700 ВН фирмы Наоуан (Китай). Рабочий режим – 40 кВ–30 мА, Cu K α излучение, кремниевый монохроматор, диапазон измерений – 3–65° 2 θ , шаг по углу сканирования 0.02° 2 θ , фиксированная система фокусировочных щелей, пропорциональный детектор, выдержка в точке 2 с. Диагностика минерального состава проводилась методом сопоставления экспериментального и эталонных спектров из базы данных PDF-2 в программном пакете Jade 6.5, компании MDI. Количественный анализ осуществлялся методом полнопрофильной обработки рентгеновских картин от неориентирован-

ных препаратов по методу Ритвельда. Погрешность расчетов количественных содержаний по методу Ритвельда обычно оценивается в 2–3 %. Ошибка определения складывается из ошибок расчета для каждой фазы и дается в весовых процентах. При этом, для отдельных фаз ошибка определений будет отличаться и может составлять от 0.5 до 2–3 %.

Дифференциально-термический анализ выполняли на базе Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук. Анализ выполнен на приборе синхронного термического анализа фирмы NETZSCH – STA 449C Jupiter (Германия). Образцы глины в виде порошка (разной навески) нагревались в PtRh тиглях от комнатной температуры до 1000 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин в инертной среде – аргон.

Определение дзета потенциала и адсорбционных свойств выполняли на базе Северо-Восточного федерального университета, в химическом отделении. Исследование проводили на оборудовании Zetasizer Nano ZS фирмы Malvern Instrument, страна производитель Великобритания.

Исследование адсорбционных свойств сырья выполнили по ГОСТ 21283-93.

Исследования на водопоглощение керамических композитов выполнили по ГОСТ 473.3 – 81.

Испытание на изгиб при нормальной температуре выполнили на приборе Autograph AGS-J производства Shimadzu страна производитель Япония. Данный прибор предназначен для проведения исследований образцов на растяжение, сжатие, изгиб. Испытания проводили по ГОСТ 57749-2017.

Основная часть. Санниковская глина (СГ) была открыта в 1982 г., представляет из себя керамзитовую глину. Во времена РСФСР планировались масштабные работы по освоению этого сырья, но, к сожалению, не были выполнены планы по строительству завода. В таблице 1 приведен химический состав исследуемого сырья. Согласно полученным результатам химического анализа данное сырье содержит в своем составе SiO_2 – 62,39 %, Al_2O_3 – 14,07 %, достаточно высокое содержание Fe_2O_3 – 4,65 %, содержание оксидов Na_2O – 2,21 % и K_2O – 2,83 %.

На рисунке 1 показано, что исследованное сырье содержит в своем составе такие минералы как плагиоклаз – 27,6 %, калиевые полевые шпаты – 13,5 %, наблюдается высокое содержание минерала иллит – 10,6 %, хлорит – 6,2 %. Таким образом, исследованное сырье в своем составе содержит минералы, относящиеся полевым

шпатам, а также содержит гидрослюдистые минералы.

Таблица 1

Химический состав сырья

Образец	Содержание оксидов, масс. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Δm _{тппр}
СГ	62,39	14,07	4,65	0,73	3,49	2,61	2,21	2,83	6,52

Таблица 2

Минеральный состав (масс, %)

Образец	Хлорит	Иллит	Кварц	Плагиоклаз	КППШ	Кальцит	Доломит	Актинолит
СГ	6,2	10,6	35,1	27,6	13,5	3,0	2,2	1,8

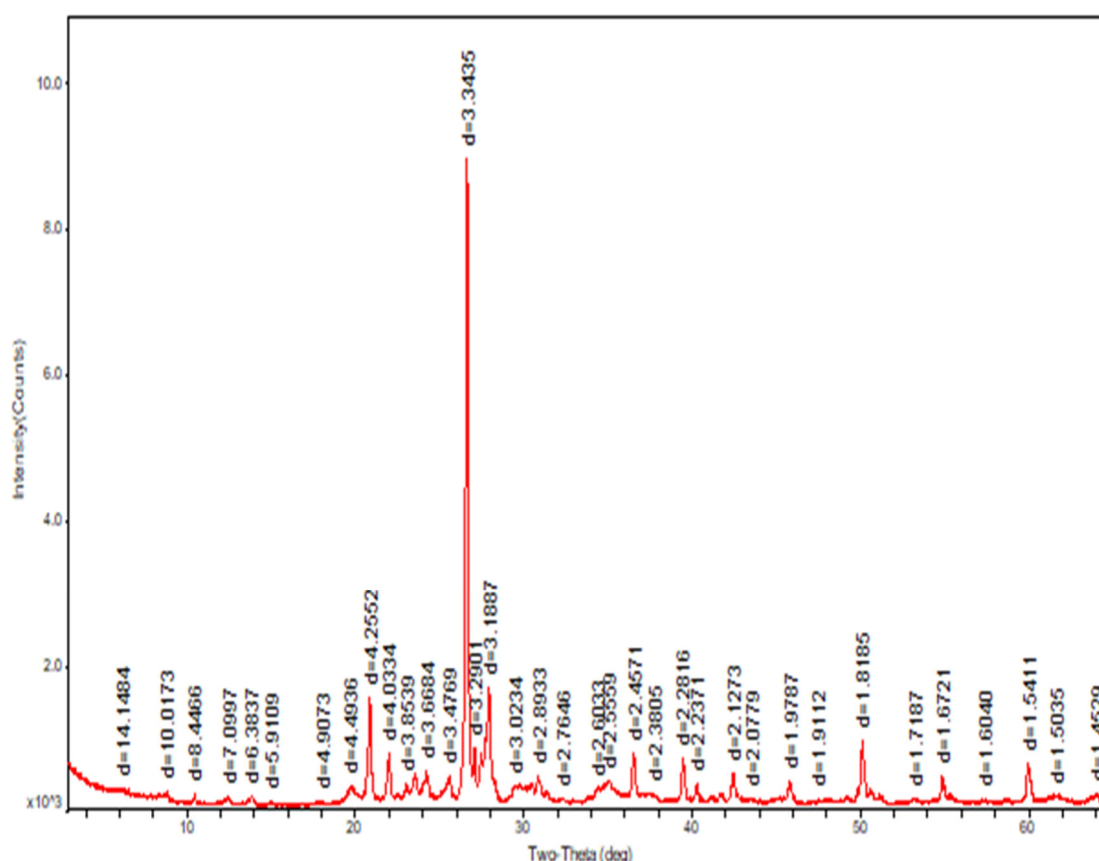


Рис. 1. Рентгеновская дифракционная картина СГ

Проведенный термический анализ (рисунок 2) подтверждает, что исследованное сырье в своем составе содержит глинистые минералы. Как видно из кривой ТГ исследуемый образец сырья СГ теряет массу ступенчато. Первый эндотермический эффект наблюдается при 86,6 °С это объясняется процессом дегидратации. При температуре 491,3 наблюдаются экзотермические эффекты характерные для дегидроксилирования иллита и хлорита. Дегидроксилирование этих минералов обычно протекает в несколько стадий, и следующая стадия проявляется в видео экзотермического пика при температуре выше 800 °С [14]. Эндотермический эффект в области 576,5 °С связан с полиморфным переходом α-

кварца в β-форму. [15]. Суммарная потеря массы до 1000 °С составляет около 7,20 %, что указывает на значительное содержание летучих компонентов в сырье.

Прежде чем приступить к активации раствором карбоната натрия, мы исследовали адсорбционные свойства сырья. Этот показатель определяет, какие концентрации карбоната натрия необходимо использовать.

Адсорбционные свойства СГ выполнили методом титрования метиленовым голубым (МГ), концентрация раствора МГ – 3 мг/см³. Расчет адсорбции выполнили согласно ГОСТ 21283-93, показатель адсорбции составил – 44,13 мг/г; емкость катионного обмена –

13,89 мг-экв. Исследованный образец СГ имеет достаточно низкие показатели адсорбции, что вполне объяснимо, в данном образце содержится минерал (27,6 %) плагиоклаз, относящийся к группе минералов из ряда альбита до анортита. Данный минерал имеет каркасную

структуру, состоящий из соединенных тетраэдров Al_2O_3 и SiO_2 . Помимо плагиоклаза (27,6 %) содержатся к тому же минералы, относящиеся к калиевым полевым шпатам (13,5 %) имеющие каркасную тетраэдрическую структуру [16]. Благодаря этим минералам СГ обладает низкими значениями адсорбции.

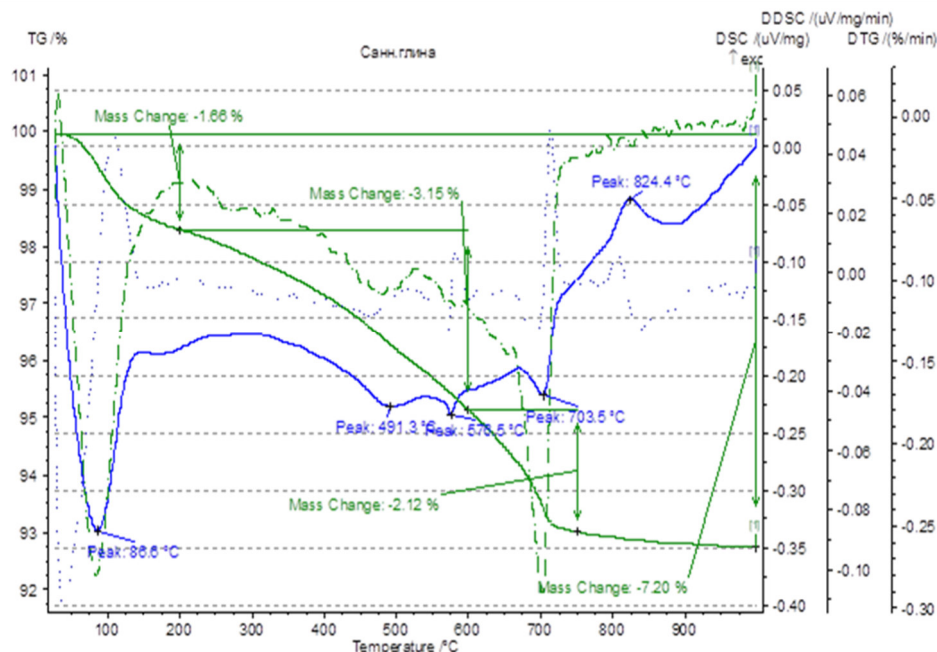


Рис. 2. Дифференциально-термическая кривая (ДТА) СГ (1 – термогравиметрия (зеленая линия); 2 – дифференциально-термическая кривая (синяя линия).)

Исследование дзета-потенциала. Глинистые частицы обладают коллоидными свойствами, при взаимодействии с водой образуют электрокинетический потенциал (дзета-потенциал), является характеристикой электрического заряда. Значение дзета-потенциала может определить стабильность дисперсной системы, что имеет значение при производстве керамических материалов [17]. Были приготовлены водные суспензии массовой долей 1%, измерение размера частиц выполнили в кварцевой кювете определение дзета-потенциала выполнили с помощью оборудования Zetasizer Nano ZS (Malvern Instrument, Великобритания).

Таблица 3
Значения дзета-потенциала СГ и размеры частиц, (при 25 °С)

Образец	Концентрация Na_2CO_3 , %	pH	Дзета-потенциал, mV
СГ	0	9,17	-27,3
СГ + Na_2CO_3	5	10,58	-35,9
СГ + Na_2CO_3	10	10,79	-40,8
СГ + Na_2CO_3	15	10,90	-42,4
СГ + Na_2CO_3	20	10,97	-42,7

Определение pH суспензий выполнили согласно ГОСТ 3594.5-77.

Согласно полученным данным по измерению дзета-потенциала (таблица 3) можно сделать вывод, что СГ без добавок имеет отрицательный поверхностный заряд. При увеличении концентрации раствора карбоната натрия, наблюдается повышение отрицательного заряда. Дополнительно определили pH полученного раствора, при увеличении pH наблюдается увеличение щелочности раствора. Увеличение отрицательного значения дзета-потенциала, можно объяснить реакцией ионного обмена между катионами кальция и натрия. При увеличении концентрации раствора карбоната натрия протекает реакция ионного обмена, что приводит к осаждению $CaCO_3$ по реакции: $Na_2CO_3 + Ca^{2+} = CaCO_3 \downarrow + Na^+$. Эта реакция приводит увеличению двойного электрического слоя. Отрицательный заряд вызывает электростатическое отталкивание частиц, препятствуя их коагуляции, тем самым повышает стабильность суспензий [18–19].

Приготовление составов керамических композитов. Для изготовления испытуемых образцов мы приготовили керамическое тесто на

основе СГ с добавлением в качестве модификатора растворы карбоната натрия (безводный). За счет низкой адсорбции СГ, было решено добавить в тесто раствор Na_2CO_3 с массовой долей 5, 10, 15 и 20 %.

Приготовили тесто пластичным формованием, раствор карбоната натрия добавляли в сухое тесто, при тщательном перемешивании.

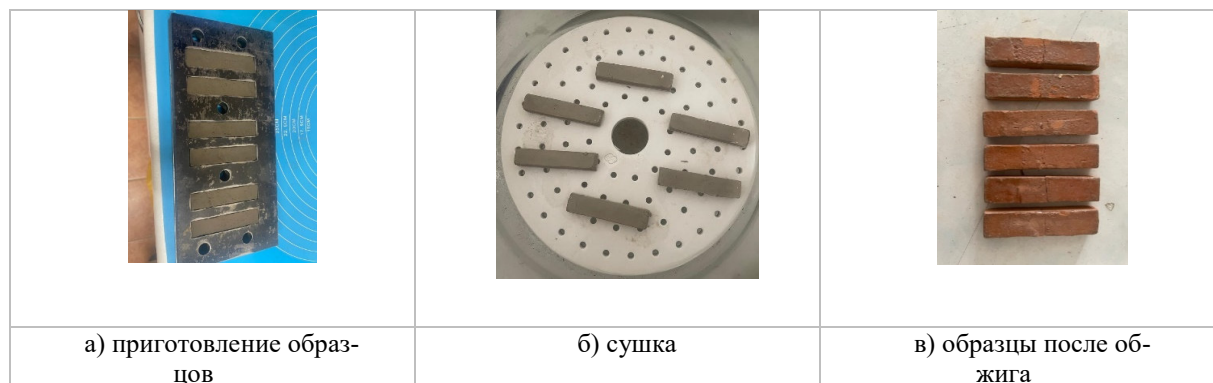


Рис. 3. Процесс приготовления керамических композитов
а) приготовление образцов, б) сушка, в) образцы после обжига

На рисунке 3 представлены образцы с добавлением 10% раствора карбоната натрия. Образцы приготовили с помощью формы размером каждой плитки: длина 70 мм, ширина 15 мм, высота 10 мм. После формования плитки сушили 24 часа для удаления излишней влаги. Обжиг выполняли при температуре 950 °С в течение 6 часов. Процесс обжига длился до 950 °С с изотермическим состоянием 30 минут при темпера-

туре 950 °С. После спекания образцы выдерживались в печи до тех пор, пока не приняли температуру окружающей среды.

Испытание на изгиб. Испытание выполняли согласно ГОСТ Р 57749–2017. На испытательной машине Autograph AGS-J производства Shimadzu.

На рисунке 4 представлены образцы для испытания на водопоглощение. Испытания провели согласно ГОСТ 473.3–81.

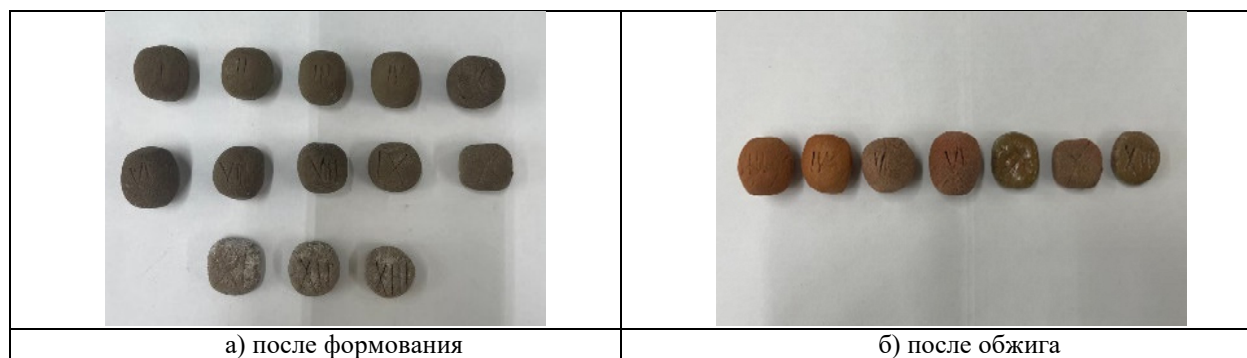


Рис. 4. Испытательные образцы
а) после формования, б) после обжига

Таблица 4

Технические параметры керамических композитов

№	Состав	Водопоглощение, %	Воздушная линейная усадка, %	ППП, %	Предел прочности на изгиб, МПа
1	СГ 0 %	14,45	0,31	6,75	5,12
2	СГ 5 %	13,21	0,14	6,53	5,37
3	СГ 10 %	13,31	4,73	8,26	8,50
4	СГ 15 %	10,51	5,04	7,45	4,51
5	СГ 20 %	12,72	3,99	7,49	5,60

В таблице 4 представлены результаты экспериментов на установление технических параметров, воздушная линейная усадка, потери при прокаливании рассчитали по

ГОСТ 21216-2014. Как видно из таблицы самыми низким значением водопоглощения обладает образец СГ с 15 % (10,51) раствором

карбоната натрия, высокое значение водопоглощения у чистого образца СГ (14,45). Вероятно, изменение водопоглощения взаимосвязано уменьшением объема открытой пористости, вследствие флюсующего действия карбоната натрия. Чем больше содержание раствора карбоната натрия, тем ниже значение водопоглощения и выше усадка. Это можно связать с увеличением жидкой фазы и протекающими реакциями в композитах. С повышением температуры при увеличении концентрации карбоната натрия образовалась жидкая фаза, состоящая из Na_2O , K_2O и MgO . По мнению исследователей, увеличение жидкой фазы приводит к уменьшению расстояний между кристаллами, что увеличивает воздушную линейную усадку [19]. Благодаря этому взаимодействию уменьшается водопоглощение.

Предел прочности на изгиб. Увеличение концентрации карбоната натрия по-разному влияет на значение трехточечного изгиба. По результатам испытаний, самыми лучшими данными обладает образец с 10 % добавкой, но при увеличении концентрации на 15 % значение резко падает. Данный результат можно объяснить увеличением хрупкой стекловидной фазы. При концентрации от 10 % на поверхности керамических композитов образуется стекловидная оболочка.

Выводы

1. Комплексный анализ показал, что глина Санниковского месторождения характеризуется высоким содержанием каркасных алюмосиликатов (плагиоклаз – 27,6 %, калиевые полевые шпаты – 13,5 %) и наличием глинистых минералов (иллит – 10,6 %, хлорит – 6,2 %), что обуславливает её низкие пластические и адсорбционные свойства.

2. Установлено, что добавка карбоната натрия оказывает значительное влияние на электрохимические свойства водных суспензий глины. Наблюдается рост отрицательного значения дзета-потенциала с -27,3 мВ (для чистого сырья) до -42,7 мВ (при 20 % добавке) и увеличение рН среды. Это свидетельствует об эффективном протекании реакций ионного обмена и повышении стабильности коллоидной системы, что является положительным фактором для технологических процессов. В связи с этим данное сырье можно применить при производстве строительных материалов, керамических изделий.

3. Установлено, что концентрация карбоната натрия оказывает разнонаправленное влияние на физико-механические свойства обожженных образцов. Максимальный предел прочности при изгибе (8,50 МПа) достигается при добавке

10 % раствора Na_2CO_3 . При увеличении концентрации до 15 % наблюдается снижение прочности до 4,51 МПа при одновременном уменьшении водопоглощения до 10,51 %, что возможно связано с формированием хрупкой или неоднородной стеклофазной структуры.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности целенаправленного регулирования свойств керамических материалов на основе Санниковской глины путем щелочной модификации, однако оптимальная концентрация модификатора должна выбираться с учетом требуемого сочетания прочностных и эксплуатационных характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трепалина Ю.Н., Кириллова Н.К. Керамический кирпич из сырья Якутии с добавлением тонкомолотого стеклобоя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 138–141. DOI: 10.34031/article_5cb1e65d798f87.83499465
2. Ушницкая Н.Н., Местников А.Е. Физико-химический анализ глинистого сырья Якутии // Успехи современного естествознания. 2022. №10. С. 125–129. DOI: 10.17513/use.37919.
3. Местников А.Е. Глинистое сырье Якутии для производства керамзита // Современные наукоёмкие технологии. 2022. № 3. С. 30–34. DOI: 10.17513/snt.39069
4. Егорова А.Д., Колесов М.В., Михайлов Д.А. Строительная керамика из сырья Якутии, модифицированная стеклобоем // Фундаментальные основы строительного материаловедения : сб. докл. Междунар. онлайн-конгресса. Белгород, 06–11 октября 2017 г. Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. С. 975–980.
5. Мальцева И.В. Улучшение реологических свойств глиняных суспензий за счет введения электролита // Инженерный Вестник Дона, 2017. №2. С. 119
6. Moreno-Maroto J.M., Camacho P.N., Cotes-Palomino T., García C.M., Alonso Azcarate J. Manufacturing of lightweight aggregates from biomass fly ash, beer bagasse, Zn-rich industrial sludge and clay by slow firing // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 246. Pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.e116677.
7. Iman A. N., Omrani A. Limestone calcined clay (LC^3) cement: Ice content profile and calcium carbonate reaction vs pore structure and mechanical properties development // Journal of Building Engineering. 2025. Vol. 100. Art. 111762.
8. Matschei T., Lothenbach B., Glasser F. P. The role of calcium carbonate in cement hydration // Cement and Concrete Research. 2007. Vol. 37, № 4. Pp. 551–558. DOI: 10.1016/j.cemconres.2006.10.013.

9. Qin J., Yi Y. Use of gasification fly ash, sodium carbonate, and ground granulated blast-furnace slag for soft clay stabilization // *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 423. Art. 136072. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136072.
10. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Кожухова М.И., Строкова В.В., Жерновский И.В., Тесля А.Ю., Алфимова Н.И. Модификация низкоактивного алюмосиликатного сырья как способ повышения его качественных характеристик при синтезе геополимеров // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2019. №5. С. 131–137. DOI: 10.34031/article_5cde6df45c835e4.80839646
11. Турнаев С.К., Кийко В.С., Кильговатов Г.М., Влияние пропитки растворами карбоната натрия на свойства оксидной бериллиевой керамики // *Новые огнеупоры*. 2013. №9. С. 58–60.
12. Сутакова Э.М., Гаврильев Д.З., Местников А.Е. Исследование археологических образцов древней керамики и глинистого сырья месторождений центральной Якутии // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2023. №9. С. 93–102. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-9-93-102
13. Сутакова Э.М., Местников А.Е. Глазурные покрытия на основе глинистого сырья кангаласского месторождения и отходов стекла // *Zhanstvena mizel*. 2018. № 12-1. С. 54–56.
14. Gharzouni A., Dupuy C., Sobrados I., Texier – Mandoki N., Bourbon X., Rossignol S. The effect of furnace and flash heating on COx argillite for the synthesis of alkali-activated binders // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 156. Pp. 670–678. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.056
15. Sedmale G., Sperberga I., Sedmalis U., Valancius Z. Formation of high-temperature crystalline phases in ceramic from illite clays and dolomite // *Journal of the European Ceramic Society*. 2006. Vol. 26. P. 3351–3355. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2005.10.012
16. Медведева Н.А., Алванян К.А., Мальгина Ю.О., Середин В.В. Изменение дзета-потенциала глин, подверженных сжатию // *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 2019. Т.19. №1. С. 4–14. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.1.1
17. Мошняков М.Г., Орлова Т.А. Реология и исследование текучести глин Российских месторождений для производства керамики // *Вестник Самарского государственного университета. Серия: Технические науки*. 2016. №4 (52). С. 147–157.
18. Liu K., Lu P., Zhao W., Wang S. Characterization and modification mechanism of recycled silty clay slurry as a shield slag conditioner: macroscopic, mesoscopic, and microscopic multiscale analysis // *Case Studies in Construction Materials*. 2025. Vol. 22. Art. e04158. DOI: 10.1016/j.cscm.2024.e04158.
19. Ren Y., Ren Q., Huo Z., Wu X., Zheng J., Hai O. Preparation of glass shell fly ash-clay based lightweight aggregate with low water absorption by using sodium carbonate solution as binder // *Materials Chemistry and Physics*. 2020. Vol. 256. Art. 123606. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2020.123606.

Информация об авторах

Сутакова Эльза Михайловна, старший преподаватель химического отделения. E-mail: em.sutakova@s-vfu.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 48.

Тагров Василий Николаевич, ведущий инженер отдела цифровое конструкторское бюро энергетики. E-mail: vn_tagrov@mail.ru. Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук. Россия, 677000, Якутск, ул. Октябрьская, д. 1.

Васильева Татьяна Игнатьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории геоэкологии и биогеохимии. E-mail: vasilevatig@gmail.com. Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук. Россия, 677000, Якутск, ул. Проспект Ленина, д. 39.

Поступила 05.11.2025 г.

© Сутакова Э.М., Тагров В.Н., Васильева И.И., 2026

¹*Sutakova E.M.,* ²*Tagrov V.N.,* ³*Vasilyeva T.I.*¹*North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov*²*V.P. Larionov Institute of Physical-Technical Problems**of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*³*Diamond and Precious Metal Geology Institute. Siberian Branch. Russian Academy of Sciences***E-mail: em.sutakova@s-vfu.ru*

THE EFFECT OF ALKALINE MODIFICATION ON THE PROPERTIES OF CLAY-BASED CERAMICS

Abstract. This study investigates the low plasticity of clay raw materials from the Sannikovskoye deposit (Republic of Sakha (Yakutia)), which limits their application in the production of building ceramics. This study explores alkaline treatment of clay from the Sannikovskoye deposit using aqueous sodium carbonate solutions to enhance its properties for use in building materials. This deposit is a promising raw material source due to its favorable composition and location. The authors have previously investigated three prominent clay deposits near Yakutsk. Although these deposits have large reserves, their mineral and chemical compositions are markedly different. A unifying characteristic is the low plasticity of the clays, which causes manufacturing issues in ceramic production. In this study additional analytical methods were employed, including an assessment of the electrochemical properties of the raw materials and their suspensions, along with an evaluation of their adsorption characteristics. The results indicate that the raw material is characterized by a high content of framework aluminosilicates (plagioclase and potassium feldspars) and the presence of hydromica-type clay minerals (illite and chlorite), which accounts for its low adsorption capacity and plasticity. The effect of sodium carbonate on the electrochemical properties of clay suspensions was studied, and an increase in the negative zeta potential and pH with increasing Na₂CO₃ concentration was observed, which is attributed to ion exchange processes and enhanced stability of the dispersed system. Ceramic samples fired at 950 °C were tested for water absorption and flexural strength. The maximum flexural strength (8.50 MPa) was achieved with the addition of a 10% sodium carbonate solution, while the lowest water absorption (10.51%) was observed at a 15% concentration, demonstrating the complex influence of alkaline modification on ceramic body structure formation and highlighting the importance of selecting an optimal modifier concentration depending on the intended application of the ceramic material.

Keywords: clay, alkaline modification, sodium carbonate, zeta potential, X-ray fluorescence analysis, quantitative X-ray diffraction analysis, thermal analysis.

REFERENCES

1. Trepalina Yu.N., Kirillova N.K. Ceramic bricks from raw raw materials of Yakutia with the addition of finely ground glass cullet [Keramicheskiiy kirpich iz syr'ya Yakutii s dobavleniyem tonkomolotogo stekloboya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhova. 2019. No. 4. Pp. 138–143. DOI: 10.34031/article_5cb1e65d798f87.83499465n(rus)
2. Ushnitskaya N.N., Mestnikov A.E. Physicochemical analysis of clay raw materials of Yakutia [Fiziko-khimicheskiiy analiz glinistogo syr'ya Yakutii]. Advances in Current Natural Sciences. 2022. No. 10. Pp. 125–129. DOI: 10.17513/use.37919. (rus)
3. Mestnikov A.E. Clay raw materials of Yakutia for expanded clay production [Glinistoye syr'ye Yakutii dlya proizvodstva keramzita]. Modern High Technologies. 2022. No. 3. Pp. 30–34. DOI: 10.17513/snt.39069. (rus)
4. Egorova A.D., Kolesov M.V., Mikhailov D.A. Construction ceramics from Yakutia raw materials modified with glass cullet [Stroitel'naya keramika iz syr'ya Yakutii, modifitsirovannaya stekloboyem]. Fundamental foundations of building materials science : Proceedings of the International Online Congress. Belgorod, October 6–11, 2017. Belgorod : BSTU named after V. G. Shukhov Publishing House, 2017. Pp. 975–980. (rus)
5. Maltseva I.V. Improvement of rheological properties of clay suspensions by introducing an electrolyte [Uluchsheniye reologicheskikh svoystv glinyanykh suspenziy za schet vvedeniya elektrolita]. Engineering Bulletin of the Don. 2017. No. 2. P. 119. (rus)
6. Moreno-Maroto J.M., Camacho P.N., Cotes-Palomino T., García C.M., Alonso Azcarate J. Manufacturing of lightweight aggregates from biomass fly ash, beer bagasse, Zn-rich industrial sludge and clay by slow firing. Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 246. Pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.e116677.
7. Iman A.N., Omrani A. Limestone calcined clay (LC³) cement: Ice content profile and calcium carbonate reaction vs pore structure and mechanical properties development. Journal of Building Engineering. 2025. Vol. 100. Art. 111762.
8. Matschei T., Lothenbach B., Glasser F.P. The role of calcium carbonate in cement hydration. Cement and Concrete Research. 2007. Vol. 37. No. 4.

Pp. 551–558. DOI: 10.1016/j.cemconres.2006.10.013.

9. Qin J., Yi Y. Use of gasification fly ash, sodium carbonate, and ground granulated blast-furnace slag for soft clay stabilization. *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 423. Art. 136072. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136072.

10. Kozhuhova N., Danakin D., Kozhuhova M. I., Strokova V., Zhernovskiy I., Teslya A., Alfimova N. Modification of low-activity aluminosilicate raw materials as a method for improving their quality characteristics in geopolymer synthesis [Modifikatsiya nizkoaktivnogo alyumosilikatnogo syr'ya kak sposob povysheniya ego kachestvennykh kharakteristik pri sinteze geopolimerov]. *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. 2019. No. 5. Pp. 131–137. DOI: 10.34031/article_5cde6df45c835e4.80839646. (rus)

11. Turnaev S., Kiiko V., Kil'govatov G. The Influence of impregnation with sodium carbonate solutions on the properties of beryllium oxide ceramics [Vliyaniye propitki rastvorami karbonata natriya na svoystva oksidnoy berillievoy keramiki]. *New Refractories*. 2013. No. 9. Pp. 58–60. (rus)

12. Sutakova E., Gavriliev D., Mestnikov A. Study of archaeological samples of ancient ceramics and clay raw materials from deposits of Central Yakutia [Issledovaniye arkheologicheskikh obraztsov drevney keramiki i glinistogo syr'ya mestorozhdeniy Tsentral'noy Yakutii]. *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. 2023. No. 9. Pp. 93–102. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-9-93-102. (rus)

13. Sutakova E., Mestnikov A. Glaze coatings based on kangalassy field clay raw material and waste glass s. *Zhanstvena Mizel*. Ljubljana, Slovenia: Global Science Center LP. 2018. No. 12-1. Pp. 54–56.

Information about the author

Sutakova, Elza M. Senior Lecturer, Chemistry Department. E-mail: em.sutakova@s-vfu.ru. M.K. Ammosov North-Eastern Federal University. Russia, 67700, st. Kulakovskogo, 48

Tagrov, Vasily N. Lead Engineer, Digital Design Bureau for Energy Department. E-mail: vn_tagrov@mail.ru. V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Russia, 67700, st. Oktyabrskaya, 1

Vasilyeva, Tatyana I. PhD, Researcher, Laboratory of Geoecology and Biogeochemistry. E-mail: vasilyevatig@gmail.com. Institute of Diamond and Noble Metals Geology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Russia, 67700, st. Lenin Avenue, 39.

Received 05.11.2025

Для цитирования:

Сутакова Э.М., Тагров В.Н., Васильева Т.И. Щелочная модификация глинистого сырья и исследование свойств полученных керамических образцов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 8. С. 116–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-8-116-124

For citation:

Sutakova E.M., Tagrov V.N., Vasilyeva T.I. The effect of alkaline modification on the properties of clay-based ceramics. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2026. No. 8. Pp. 116–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-8-116-124

14. Gharzouni A., Dupuy C., Sobrados I., Texier–Mandoki N., Bourbon X., Rossignol S. The effect of furnace and flash heating on COx argillite for the synthesis of alkali-activated binders. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 156. Pp. 670–678. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.056

15. Sedmale G., Sperberga I., Sedmalis U., Valancius Z. Formation of high-temperature crystalline phases in ceramics from illite clays and dolomite. *Journal of the European Ceramic Society*. 2006. Vol. 26. Pp. 3351–3355. DOI: 10.1016/j.jeurceram-soc.2005.10.012

16. Medvedeva N.A., Alvanyan K.A., Malgina Yu.O., Seredin V.V. Zeta potential changing in compressed clays [Izmeneniye dzeta-potentsiala glin, podverzhennykh szhatiyu] *Perm journal of petroleum and mining engineering*, 2019. No 19(1), Pp. 4–14. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.1.1 (rus)

17. Moshnyakov M.G., Orlova T.A. Rheology and study of the flow properties of clays from Russian deposits for ceramics production. *Vestnik of Samara State University. Series: Technical Sciences*. 2016. No 4(52), Pp. 147–157. (rus)

18. Liu K., Lu P., Zhao W., Wang S. Characterization and modification mechanism of recycled silty clay slurry as a shield slag conditioner: macroscopic, mesoscopic, and microscopic multiscale analysis. *Case Studies in Construction Materials*. 2025. Vol. 22. Art. e04158. DOI: 10.1016/j.cscm.2024.e04158.

19. Ren Y., Ren Q., Huo Z., Wu X., Zheng J., Hai O. Preparation of glass shell fly ash–clay-based lightweight aggregate with low water absorption using sodium carbonate solution as a binder. *Materials Chemistry and Physics*. 2020. Vol. 256. Art. 123606. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2020.123606.