

MPHTI 67.09.35

Б.О. Адырбаев¹ – основной автор, ©
А.З. Дархан², А.С. Куртаев³, Б.О. Есимов⁴,
М.Е. Курбанбаев⁵, Т.А. Адырбаева⁶, Е.С. Дубинина⁷



^{1,2}Магистр, Докторант, ³Академик НИИ РК, ⁴Д-р геол.-минерал. наук, профессор, ⁵Канд. техн. наук, ^{6,7}Канд. техн. наук, доцент

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-4588-5717> ²<https://orcid.org/0000-0002-3420-9465>

³<https://orcid.org/0009-0009-0880-1041> ⁴<https://orcid.org/0000-0001-8130-1486>

⁵<https://orcid.org/0000-0003-0626-5934> ⁶<https://orcid.org/0000-0001-7049-3099>

⁷<https://orcid.org/0000-0001-9952-4573>



^{1,2,4,5,6,7}Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова,
г. Шымкент, Казахстан

³АО «Национальный центр Экспертизы и Сертификации»,
г. Астана Казахстан



¹bekjan.94.com@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/COCG7458>

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ КОНДИЦИОННОСТИ КЕРАМОГРАНИТОВОГО ПОЛЕВОШПАТОВОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕМНЫХ ГРАНИТОВ БАДАМСКОГО МАССИВА

Аннотация. Импортозамещение в сфере современных керамических материалов играет важную роль в развитии отечественной промышленности. Практика производства показала, что одним из наиболее проблемных аспектов в керамогранитовой индустрии является поиск и подбор отечественного полевошпатового сырья, которое существенно влияет на минеральный состав и структуру, а в целом на физико-механические показатели синтезируемого материала. К тому же в четырехкомпонентной керамогранитовой массе расчетная доля полевошпатового компонента внушительна и находится в пределах 30-40%. В данной статье рассматриваются результаты минералого-петрографических и впервые проведенных экспериментальных исследований по определению возможности дальнейшего повышения кондиционности гранитов Бадамского массива в качестве альтернативы импортному полевошпатовому сырью. Бадамский гранитовый массив – самый близкий предполагаемый источник полевого шпата для действующего первого и будущих керамогранитовых производств в южном регионе Казахстана.

Ключевые слова: керамогранит, минеральное сырье, полевой шпат, синтез, импортозамещение.



Адырбаев, Б.О. Возможность повышения кондиционности керамогранитового полевошпатового сырья на основе высококремнеземных гранитов Бадамского массива [Текст] / Б.О. Адырбаев, А.З. Дархан, А.С. Куртаев, Б.О. Есимов, М.Е. Курбанбаев, Т.А. Адырбаева, Е.С. Дубинина // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.295-308. <https://doi.org/10.55956/COCG7458>

Введение. Керамогранит в нашей Республике в числе важнейших современных приоритетных строительных материалов. В пространстве

среднеазиатских республик его производство началось впервые в нашей стране два десятилетия тому назад и ныне годовой объем выпуска достиг более 6 млн. м², что удовлетворяет лишь одну треть ее потребности [1].

Как показывают производственный опыт и анализ технологического процесса получения керамогранита, оптимальное решение вопросов импортозамещения именно полевошпатового сырья является одной из первоочередных задач с точки зрения улучшения сырьевой безопасности и экономики производства.

Теоретически применение полевых шпатов основано на их свойствах при сравнительно невысоких для керамики температурах образовывать жидкую стеклофазу, которая взаимодействуя с глинами и кварцем при застывании в условиях твердофазовых реакций формирует совершенно новую и не характерную для природных условий муллитовую ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) фазовую основу керамогранита.

Целенаправленные химико-минералогические, высокотемпературные экспериментальные и технологические исследования вопросов импортозамещения дорогостоящего полевошпатового сырьевого материала и разработка рациональных технологий получения керамогранита весьма актуальны для бурно развивающейся керамогранитовой отрасли.

У исследуемых бадамских гранитов выявлены своеобразные особенности вещественного состава, весьма значимые в процессах высокотемпературного минералообразования при синтезе керамогранита. Так, в отличие от аналогичных интрузивов, они интенсивно обогащены крупными идиоморфными кристаллами полевых шпатов, а благодаря обилию крупных водяно-прозрачных выделений кварца, они оценены нами как высококремнеземистые.

Дальнейший эффект улучшения качества, предлагаемого к широкому внедрению полноценного полевошпатового сырья достигнут удалением из измельченного гранита магнитных фракций, представленным небольшим количеством акцессорных минералов типа магнетита и титаномагнетита, с использованием современных электромагнитных сепараторов.

Впервые доказана возможность использования в технологии керамогранита гранитов Бадамского массива в качестве полевошпатового сырья. С учетом уникальности состава, свойств и запасов, а также близости и легкодоступности это месторождение следует считать, как потенциально-перспективный импортозамещающий источник полевого шпата.

Условия и методы исследований. В экспериментальных исследованиях по разработке нового по составу керамогранита в работе изучены и использованы известные в отрасли традиционной керамики отечественные березовские глины, алексеевские каолины, акжарские пески и новый в этом деле вид полевошпатового минерального сырья – высококремнеземные бадамские граниты.

Глины березовские серовато-белого цвета, местами отмечаются участки бурого цвета, на ощупь жирные и, что немаловажно, характеризуются отсутствием карбонатных примесей. По результатам полуколичественного рентгенофазового анализа, концентрация каолинита в глинах – 79,7%, кварца – 13,6%, слюды – 5,2%, калиевого полевого шпата – 1,5%, а содержания основных оксидов – SiO_2 56,50%, Al_2O_3 36,77%, Fe_2O_3 1,99%, TiO_2 1,80%, K_2O 2,29%. Основные качественные показатели глин –

огнеупорные, высокодисперсные, среднепластичные (15,4-16,8), температура спекания 1250°C [2].

Каолины алексеевские представляют собой мелкий порошок белого цвета, на ощупь мягкие, сыпучие и жирные. Полученные результаты указывают на содержание в исследуемой пробе сырья: каолинита – 70,1%, кварца – 25,0%, слюд – 2,3%, ортоклаза – 0,8%, альбита – 1,7%, а содержания основных оксидов – SiO_2 48,50%, Al_2O_3 35,41%, Fe_2O_3 0,90%, K_2O 2,08%, Na_2O 0,14%. Основные качественные показатели каолина – огнеупорные, высокодисперсные, среднепластичные (18,7), температура спекания 1240°C [2].

Кварцевые пески акжарские по цвету белые, сыпучие, состоят в основном из зернистых частиц кварца. Минералогический состав использованной пробы сырья представлен: кварц – 86,7%, ортоклаз – 7,9%, альбит – 3,9%, слюды – 1,5%, а содержания основных оксидов в среднем – SiO_2 97,35%, Fe_2O_3 0,37%, CaO 0,26%, Na_2O 0,5%, K_2O 0,26% [2,3].

Бадамское месторождение гранитов, ранее известное как залежь бутого камня, расположено в Ордабасынском районе, площадь выхода массива на дневную поверхность составляет около 8 км². Порода имеет разнообразные цветовые оттенки от розового до серого и синевато-зеленоватого. Она характеризуется мелко- и среднезернистой структурой с порфировидными крупными кристаллическими выделениями полевых шпатов размером до 12 мм и более (рис. 1). Своеобразен химический состав, где SiO_2 66-76%, Al_2O_3 11,2-16,1%, Fe_2O_3 0,5-5,25%, FeO 0,6-8,1%, CaO 0,4-5,9%, MgO 4,5%, Na_2O 2,7-5,6%, K_2O 0,9-6,6%, TiO_2 0,58% [2, 3].



Рис. 1. Характерная порфировая структура исследуемого гранита, образованная преимущественно из крупных кристаллических вкраплений полевых шпатов

В большинстве случаев в составе породы преобладает калиевый полевой шпат, количество которого достигает 55%. Плагиоклаз в виде короткостолбчатых и призматических кристаллов занимает до 30-35% площади шлифа. Содержание кварца в породе колеблется от 17 до 25%. Следует подчеркнуть заметную кремнеземность этих пород, достигающей 76%. Как известно из энциклопедических источников, в обычных гранитах доля этой молекулы колеблется в пределах 68-73%. Аналогичная картина и с суммой содержаний $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$. В исследуемых гранитах она равна 3,6-12,2%, тогда как общепринято считать нормальным содержания 3,5-9,0%. Важно, что в целом химический состав исследуемого гранита строго в

системе $K_2O+Na_2O-Al_2O_3-SiO_2$. Как известно, для изучения данной системы используется диаграмма состояния И.Ф. Шерера и Н.Л. Боуэна (рис. 2), которая показывает равновесное состояние между фазами при различных температурах и составах, то есть помогает ориентироваться в процессах минералообразования и управлять свойствами керамогранита.

Как видно из химического состава гранитов, сумма Fe_2O_3+FeO колеблется в пределах 1,1-13,35%, что дает представление о значительных порой концентрациях магнетита и титаномагнетита, а также о возможных негативных последствиях из-за этого при термической обработке и кристаллизации разработанных составов.

Вопросам химического состава и влияниям чистоты стартового состава керамогранита на микроструктуру и механические свойства посвящены исследования ряда исследователей [4-7], которые подчеркивают их первостепенное значение для реализации технологий.

В целях избавления от вышеуказанных рудных фаз в составе сырья нами определена целесообразность использования метода электромагнитной сепарации, основанной на разделении фаз в силу их магнитных свойств.

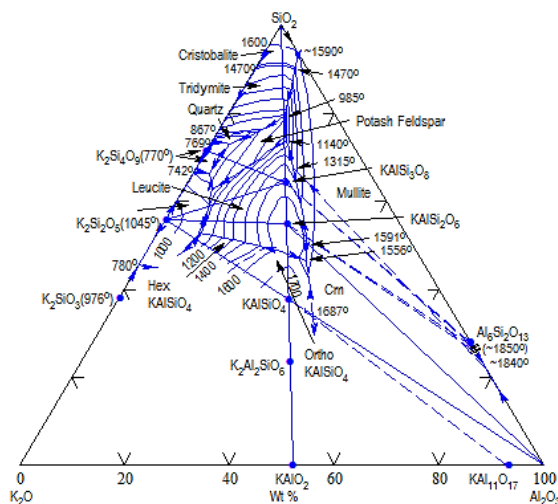


Рис. 2. Диаграмма состояния системы $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ (по Шереру и Боуэну)

Последующие этапы исследований состояли из разработок экспериментальных шихт, подготовки шихт путем сушки и помола, дозирования и получения шликерной массы, измельчения высушенного шликера, формовки опытных керамогранитовых плиток при давлении 400 бар, из кристаллизационного обжига плиток в роликовой печи в производственных условиях при температуре 1200°C, а также исследования и анализа результатов водопоглощения, морозостойкости, предела прочности при изгибе и термостойкости разработанных плиток.

Технологический этап исследований выполнялся с применением методов рентгенофазового, дифференциально-термического, электронно-микроскопического анализа и традиционных лабораторных методов установления физико-механических свойств образцов керамогранита.

При изучении минерально-фазового состава сырья и полученных керамогранитовых плиток, помимо всего, применялся

рентгенодифрактометрический анализ на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с $Cu_{K\alpha}$ – излучением, β -фильтр. Условия съемки дифрактограмм: $U=35$ кВ; $I=20$ мА; съемка θ -2 θ ; детектор 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF 2 (Powder Diffraction File) Release 2022 и программы HighScorePlus. Для основных фаз проводился расчет содержания.

Микроструктура, формы кристаллических выделений, размеры, их количественная характеристика, а также микроанализ вновь образованных минеральных фаз в синтезируемых керамогранитах изучались с помощью современного многоцелевого растрового электронного микроскопа серии JSM-6490LV (JEOL.Ltd, Япония, 2007 г.в.) с мощным программным обеспечением, компьютерным контролем. Электронный микроскоп JSM-6490LV имеет 2 приставки (Oxford Instruments) для энергодисперсионного микроанализа INCA Energy350, текстурного анализа поликристаллических и кристаллических образцов HKL Basic.

Технологическое обеспечение формирования эффективной микроструктуры керамогранита является сложной задачей, от нее функционально зависимы все свойства материала [8-10].

Определение важнейших технических показателей опытных образцов керамогранита - водопоглощение, морозостойкость, предел прочности при изгибе и термостойкость проводились по СТ РК 1954-2017 Плитки керамогранитные. Общие технические условия.

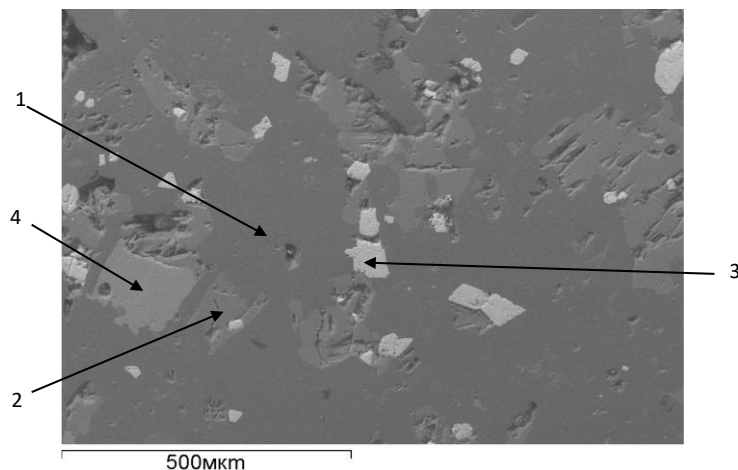
Водопоглощение вычислялось исходя из результатов взвешивания плиток в сухом и насыщенном водой состояниях. Определение морозостойкости заключался в выявлении возможных дефектов у испытуемых образцов плиток после насыщения водой и воздействия температур $+25^{\circ}\text{C}$ и -25°C в течение установленного числа циклов «замораживания-оттаивания». Предел прочности плиток при изгибе определялся посредством приложения усилия не менее 40 МПа на середину образца до его разрушения. Определение термической стойкости целой керамогранитовой плитки устанавливался по попеременному воздействию температур 15°C и 150°C в течение требуемого числа циклов до выявления дефектов.

Результаты исследований и их обсуждение. Впервые с использованием натурального гранита Бадамского месторождения в качестве полевошпатового сырья в керамогранитовой шихте разработаны составы и получен отвечающий всем техническим требованиям материал.

Установлена природа технологической ценности данных гранитов, связанная с высокой обогащенностью породы глиноземом и щелочью-плавленем. Они сконцентрированы в структурах ортоклаза и альбита, суммарное содержание которых достигает 90%. С другой стороны, исследуемые граниты необычайно кремнеземисты, что немаловажный стеклообразующий фактор.

Учитывая несомненные перспективы бадамских гранитов как будущего импортозамещающего источника полевошпатового сырья, нами с целью обеспечения его качественной безопасности проанализированы ситуации, которые могли бы отрицательно сказаться на характеристике вещественного

состава сырья по мере освоения краевых и глубинных частей массива. В этом плане больше всего обращает на себя внимание количественная вариативность вышеописанной рудной минерализации (рис. 3). Опыт показал, что появление в муллитово-кварцевой структуре керамической массы несиликатных фаз, как правило, приводит к снижению физико-механических свойств материала.

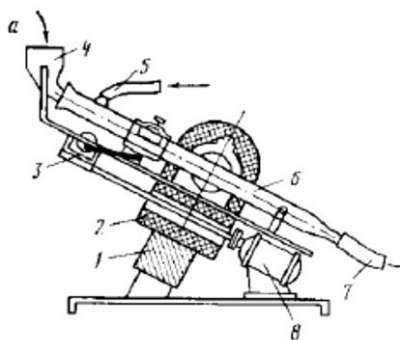


1 – полевой шпат как общий фон; 2 – кварц; 3 – магнетит; 4 – апатит.

Рис. 3. Микрофотография аншлифа гранита с указанием представителей его вещественного состава

Подобран метод извлечения неравномерно распределенных в горной породе магнитных фракций, где учтен опыт «Уралмеханобр» и ОАО «Малышевское рудоуправление» по селективной флотации полевых шпатов из хвостов руд в гранитных пегматитах [11]. Выполнен цикл работ по оптимальному отбору магнитных фракций из исследуемых бадамских гранитов на специализированной базе кафедры «Металлургия и обогащения полезных ископаемых» в НАО КазНУТУ им К.И. Сатбаева.

На лабораторные тесты по магнитной сепарации было подготовлено необходимая масса измельченной до крупности менее 2 мм исследуемых гранитов. Первоначально для определения выхода магнитной фракции проведены опыты на трубчатом магнитном анализаторе. Анализатор состоит из сердечника и обмоток замкнутой электромагнитной системы с конусными полюсными наконечниками, между которыми с помощью электродвигателя и кривошипно-шатунного механизма вращательно-возвратно-поступательно движется стеклянная трубка (рис. 4). В трубку подавалась промывочная вода, расход регулировался по установленному сливу через шланг удаления продуктов. Уровень воды в трубке поддерживался выше полюсных наконечников. Анализируемая проба смачивалась в стаканчике, постепенно заливалась в трубку через приемное устройство и грушей вымывалась из стаканчика, при этом сливной шланг направлялся в емкость для сбора немагнитной фракции.



1 – сердечник; 2 – обмотки электромагнитной системы; 3 – механизм привода трубки; 4 – приемное устройство; 5 – шланг подачи воды; 6 – трубка; 7 – сливной шланг; 8 – электродвигатель.

Рис. 4. Трубчатый анализатор

Изменение качества магнитной фракции и извлечения железа наглядно показано на графике (рис. 5).

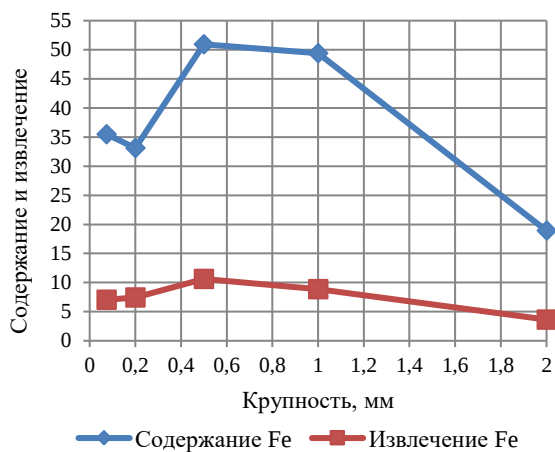


Рис. 5. График зависимости качества и извлечения Fe в магнитной фракции от крупности измельчения

Магнитная фракция при напряженности установленной током электромагнитной системы притягивается к стенкам трубки у полюсов. Сложное движение трубки способствует вымыванию немагнитных частиц из флокул. Анализ продолжали до получения чистой сточной воды в нижней части трубки, после чего сливной шланг перенесли в емкость для сбора магнитной фракции и выключался ток электромагнитной системы. Подача воды прекращалась после полного смыва магнитной фракции. Полученные продукты отстаивали, воду декантировали, продукты высушивались и взвешивались.

Максимальное извлечение 10,62% и содержание железа 50,94% достигнуто в продукте, измельченном до 0,5 мм.

С учетом полученных данных опыты на укрупненной пробе, измельченной до 0,5 мм, проведены на прямоточном электромагнитном барабанном сепараторе 120 Т-СЭМ. Эксперимент проведен при

максимальной напряженности магнитного поля, создаваемого электромагнитной системой сепаратора 1100 Эрстед, по следующей схеме (рис. 6).

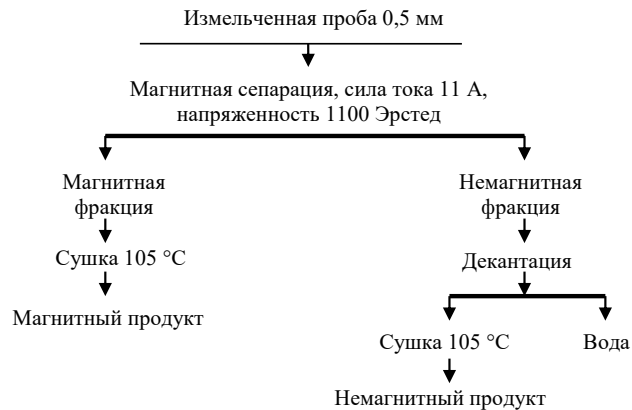


Рис. 6. Схема удаления магнитной фракции на проточном электромагнитном барабанном сепараторе 120 Т-СЭМ

В результате проведенного эксперимента получена магнитная фракция выходом 0,41% с содержанием железа 57,34% при извлечении 9,02%. Выход немагнитной фракции составил 99,59% с содержанием железа 2,38% при извлечении 90,98%.

Химические составы наиболее оптимальных сырьевых материалов, подобранных по результатам комплексных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Химические составы сырьевых материалов, включенных в качестве компонентов для разработки керамогранитовых масс

Минеральное сырье	Содержание оксидов, % по массе							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Глины березовские	51,36	29,64	1,44	1,10	1,46	1,39	1,38	0,90
Каолины алексеевские	71,02	20,07	-	-	0,48	0,55	1,24	0,46
Кварцевые пески акжарские	89,36	4,47	0,46	0,69	0,03	1,43	1,95	0,40
Граниты бадамские обогащенные	67,6	16,8	0,72	0,57	0,39	0,21	11,5	2,12

Разработанный состав керамогранитной массы, полученный путем анализа кривых плавкости на диаграммах состояний, исследованиями физико-химических и структурных превращений в многокомпонентных системах при обжиге и по результатам технологических экспериментов, приведен в таблице 2.

Таблица 2

Сырьевой состав разработанной керамогранитной массы

Компоненты	Содержания компонентов в массе, %
Глины	26,0
Каолины	28,0
Кварцевые пески	8,0
Граниты обогащенные	38,0

Для изготовления керамогранита методом прессования из полусухих порошков применялась шликерная технология подготовки массы.

Глина, каолины, кварцевые пески и граниты подвергались сушке из-за заметного естественного влагосодержания. Дозирование компонентов шихты было весовое. Помол производился в лабораторной шаровой мельнице периодического действия до прохождения измельченных фракции через сито 60 мкм. Получаемая масса – шликер или водная суспензия, частицы которой обладали достаточно мелкой и однородной величиной, чтобы можно было перейти к следующей стадии обработки. Готовый однородный шликер выливался в посуду, затем сушился в сушильном шкафу при температуре $100 \pm 10^\circ\text{C}$. Соблюдалось условие, когда шликер должен полностью высохнуть от влаги. Далее высушенный шликер измельчался и к нему добавлялась вода 5-6% от веса измельченного порошка для последующей формовки. Порошок прессовался в лабораторном прессе при давлении 400 бар. Лабораторные образцы керамогранита сушились после формовки в сушильном шкафу до 0,5% влагосодержания. Образцы обжигались в роликовой печи в производственных условиях при 1200°C . Режим обжига подбирался и корректировался в процессе исследований.

Во всех случаях использовались по 5 образцов керамогранита для вычисления наиболее представительных средних физико-механических показателей (рис. 7).



Рис. 7. Образцы керамогранитовых плиток на основе разработанных составов и полученных в заводских условиях

Один из основных качественных показателей керамогранита – водопоглощение связано с ранней деструктуризацией полевошпатовых компонентов и реакцией взаимодействия их с образованием новых кристаллических фаз, плавлением легкоплавких эвтектик с образованием стекловидной фазы и полиморфными превращениями систем $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ и $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, уже при температурах $600-700^\circ\text{C}$.

Следует подчеркнуть, что в отличие от традиционной керамики, при формировании керамогранитовых плиток используется более высокое давление, достигающее 500 кгс/см². Это обстоятельство весьма положительно влияет на показатели водопоглощения керамогранитовых образцов.

В завершающей стадии обжига, при температуре выше 1200°C, в полевошпатовом расплаве начинается диффузионный процесс растворения каолинистового остатка и кварца, столь необходимый для построения кристаллической решетки новообразований муллита – конечной цели технологии керамогранита.

В этих процессах, как подтверждают проведенные эксперименты, решающее значение имеет вязкость первоначального расплава, который начинает появляться в теле термообрабатываемой массы по достижении определенной температуры. Чрезмерно вязкий расплав не обеспечивает полной цементации частиц, в то время как маловязкий расплав как бы хорошо смачивает кристаллические частицы, но способствует появлению позже нежелательной деформации в виде искривлений изделий.

Установлено, что чем больше расплав насыщается растворяющимся в нем кремнеземом и глиноземом, тем выше его вязкость и выше требуемые показатели образцов. Обжиг изделий при найденной оптимальной температуре обеспечивал необходимые качества материала на основе разработанных масс.

Это обусловлено тем, что при достижении температуры плавления полевошпатового расплава последний выполняет роль растворителя кварца и каолинистового остатка, связки непрореагировавших с расплавом кварца и каолинистового остатка, а также активного минерализатора, способствующего протеканию внутримолекулярных превращений каолинита, диффузионных процессов и росту линейных размеров новообразований.

При этом происходит насыщение полевошпатового расплава диффундирующими ионами алюминия в расплаве.

Полнота протекания этих процессов зависит от растворимости кристаллической фазы в жидкую фазу, количества жидкой фазы и ее свойств – способности смачивать твердые частички, растекаться по их поверхности и проникать в капиллярные щели между твердыми частичками [12,13].

Определены и проанализированы все основные физико-механические свойства (табл. 3) разработанных опытных керамогранитных образцов, они соответствуют требованиям, предъявляемым к керамогранитным материалам.

Таблица 3

Физико-механические показатели разработанных образцов керамогранита на основе бадамских гранитов

Показатели	Нормируемые показатели по СТ РК 1954-2017	Показатели разработанных образцов керамогранита	
		Полевошпатовый компонент – натуральный гранит	Полевошпатовый компонент – гранит без магнитной фракции
1	2	3	4
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	40	41	44
Водопоглощение, %, не более	0,5	0,1	0,03

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
Морозостойкость, п цикла, не менее	100	111	120
Износостойкость (по кварцевому песку), г/см ² , не более	0,18	0,15	0,11
Термическая стойкость, п цикла, не менее	125	131	143

Данные рентгенофазового анализа (рис. 8) синтезированного керамогранита указывают на муллит ($d/n = 5,414; 3,408; 2,880; 2,697; 2,545; 2,206$;) и кварц ($d/n = 4,262; 3,345; 2,455; 2,285; 2,129; 1,981; 1,818$).

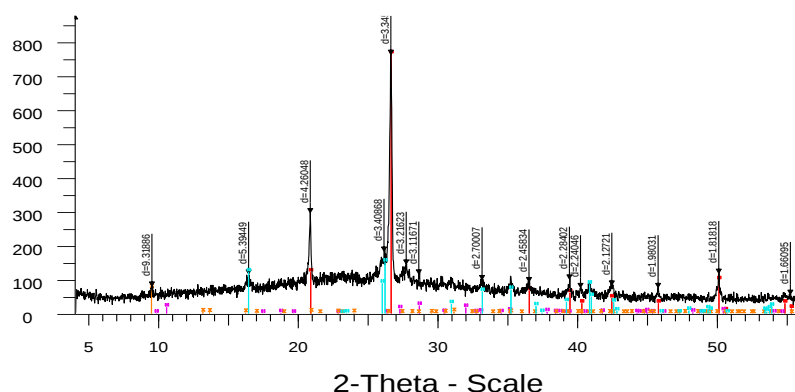


Рис. 8. Рентгенограмма синтезированного керамогранита

Определены и проанализированы основные физико-механические и электрические свойства опытных образцов керамогранита.

Закключение. На основе гранитов Бадамского массива впервые разработан и получен керамогранит при следующем соотношении компонентов шихты: глины – 26%, каолины – 28%, кварцевые пески – 8%, граниты обогащенные – 38%. Найдена возможность повышения кондиционности полевошпатового сырья нового источника.

Как показывает анализ всего процесса производства керамогранита, самым узким и проблемным вопросом в этом деле является подбор полевошпатового сырья. Именно от полевого шпата в составе керамогранитовой шихты больше всего зависит формирование петрографического состава и структуры материала, обеспечивающие нужные свойства искусственного камня.

Все свойства разработанного керамогранита соответствуют требованиям действующего стандарта. Высокие показатели их технических свойств объясняются достижением удаления акцессорного магнитного вещества, оптимальных муллитово-кварцевых минеральных фаз и их соотношений, а также благоприятной структурой синтезируемого материала.

Результаты исследований показывают, что бадамские граниты могут быть успешно использованы в производстве керамогранита в качестве импортозамещающего полевошпатового сырья и по геолого-экономическим показателям они весьма потенциально перспективны.

Список литературы

1. Есимов, Б.О. Приоритетные строительные материалы и их минерально-сырьевое обеспечение [Текст]: учебник / Б.О. Есимов, С.С. Сейтжанов, М.К. Битемиров. – Шымкент: ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2016. – 223 с.
2. Кулинич, В.В. Месторождения горнорудного сырья Казахстана [Текст]: справочник Том I / В.В. Кулинич, В.Г. Сагунов, Б.С. Ушкенов, Н.Я. Гуляева, О.Б. Бейсеев, Н.Н. Ведерников, А.А. Антоненко, С.Я. Баякунова. – Алматы: 2000. – 372 с.
3. Есимов, Б.О. Минерально-сырьевые ресурсы Туркестанской области для цементных, керамических и стекольных производств [Текст]: монография / Б.О. Есимов, В.В. Руснак, Т.А. Адырбаева, Ю.В. Егоров, А.В. Анашкин, Б.О. Адырбаев. – Шымкент: Элем, 2025. – 352 с.
4. Адырбаев, Б.О. О роли полевых шпатов в составе масс керамогранита [Текст] / Научные труды ЮКГУ им.М.Ауэзова. – 2017. – № 4 (44). – С.131-135.
5. Nori A.D. Jr., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S. Influence of composition on mechanical behavior of porcelain tile. Part 1: Microstructural characterization and developed phases after firing // Materials Science and Engineering. – 2010. – Vol. 527. – Issues 7-8. – P. 1730-1735.
6. Junior A.D.N., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S., Influence of porcelain tile starting composition on tile microstructure and mechanical properties // Qualicer. – 2008. – P. 61-73.
7. Dondi M., Ercolani G., Melandri C., Mingazzini C., Marsigli M. The chemical composition of porcelain stoneware tiles and its influence on microstructural and mechanical properties // Interceram. – 1995. – Vol. 48. P. 75-83.
8. Martín-Márquez, Rincón J.M., Romero M. Effect of microstructure on mechanical properties of porcelain stoneware // Journal of the European Ceramic Society. – 2010. – Vol. 30. – Issue 15. – P. 3063-3069.
9. Perez J.M., Romero M. Microstructure and technological properties of porcelain stoneware tiles moulded at different pressures and thicknesses // Ceramic International. – 2014. – Vol. 40. – P. 1365-1377.
10. Romero M., Perez J.M. Relation between the microstructure and technological properties of porcelain stoneware // Materiales de Construcción. – 2015. – Vol. 65. – No. 320. – P. e065.
11. Газалеева, Г.И., Особенности обогащения полевошпатового сырья сухими методами [Текст] / Г.И. Газалеева, Т.А. Бузунова, В.Н. Шигаева // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья. – 2021. – С. 25-28.
12. Гузмана, И.Я. Химическая технология керамики [Текст]: монография / ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. – 496 с.
13. Сулименко, Л.М. Общая технология силикатов [Текст]: монография / ИНФРА, 2010. – 336 с.

Исследования выполнены в рамках проекта BR21882181 «Разработка технологии производства высокоэффективных материалов на основе минерального сырья и техногенных отходов», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.

Материал поступил в редакцию 25.08.25, принят 15.09.25.

Б.О. Адырбаев¹, А.З. Дархан¹, А.С. Куртаев²,
Б.О. Есимов¹, М.Е. Курбанбаев¹, Т.А. Адырбаева¹, Е.С. Дубинина¹

¹М. Әуезова атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті,
Шымкент қ., Қазақстан

²«Ұлттық сараптама және сертификаттау орталығы» АҚ, Астана қ., Қазақстан

**КРЕМНИЙ ТОТЫҒЫ МОЛ БАДАМ МАССИВІ ГРАНИТІНІҢ НЕГІЗІНДЕГІ
КЕРАМОГРАНИТТІК ДАЛА ШПАТЫ ШИКІЗАТЫНЫҢ
КОНДИЦИЯСЫН КӨТЕРУ МҮМКІНДІГІ**

Аңдатпа. Заманауи керамикалық материалдар саласындағы импортты алмастыру отандық өнеркәсіптің дамуында маңызды рөл атқарады. Өндіріс тәжірибесі көрсеткендей, керамогранит бұйымдары индустриясындағы ең проблемалық аспектілердің бірі минералды құрамы мен құрылымына, жалпы синтезделген материалдың физикалық-механикалық көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер ететін отандық дала шпаты шикізатын іздеуі және таңдауы болып тұр. Сонымен қатар, төрт компонентті керамограниттің далалық шпат компонентінің есептік үлесі әсерлі және 30-40% аралығында болады. Бұл мақалада импорттық дала шпатына балама ретінде Бадам массиві граниттерінің кондициясын одан әрі арттыру мүмкіндігін анықтау бойынша минералдық-петрографиялық және алғаш рет жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелері қарастырылды. Бадам гранит массиві Қазақстанның оңтүстік өңіріндегі жұмыс істеп тұрған бірінші және болашақ керамогранит өндірістері үшін дала шпатының ең жақын болжамды көзі.

Тірек сөздер: керамогранит, минералды шикізат, дала шпаты, синтездеу, импортты алмастыру.

Б.О. Adyrbayev¹, A.Z. Darhan¹, A.S. Kurtaev²,
B.O. Yessimov¹, M.E. Kurbanbaev¹, T.A. Adyrbayeva¹, E.S. Dubinina¹

¹M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan

²JSC "National Center of Expertise and Certification", Astana, Kazakhstan

**THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE QUALITY OF CERAMIC GRANITE FELDSPAR RAW
MATERIALS BASED ON HIGH-SILICA GRANITES OF THE BADAMA MASSIF**

Abstract. Import substitution in the field of modern ceramic materials plays an important role in the development of the domestic industry. Production practice has shown that one of the most problematic aspects in the ceramic granite industry is the search and selection of domestic feldspar raw materials, which significantly affects the mineral composition and structure, as well as the physical and mechanical properties of the synthesized material. In addition, the estimated proportion of the feldspar component in the four-component ceramic granite mass is impressive and ranges from 30-40%. This article discusses the results of mineralogical and petrographic and experimental studies conducted for the first time to determine the possibility of further improving the conditioning of granites of the Badama massif as an alternative to imported feldspar raw materials. The Badama granite massif is the closest prospective source of feldspar for the current first and future ceramic granite production facilities in the southern region of Kazakhstan.

Keywords: ceramic granite, mineral raw materials, feldspar, synthesis, import substitution.

References

1. Esimov B.O., Seitzhanov S.S., Bitemirov M.K. Prioritetnye stroitel'nye materialy i ikh mineral'no-syr'evoye obespecheniye [Priority construction materials and their mineral raw material supply]: textbook. – Shymkent: South Kazakhstan State University named after M. Auezov, 2016. – 223 p. [in Russian].
2. Kulinich V.V., Sagunov V.G., Ushkenov B.S., Gulyaeva N.Ya., Beyseyev O.B., Vedernikov N.N., Antonenko A.A., Bayakunova S.Ya. Mestorozhdeniya gornorudnogo syr'ya Kazakhstana [Deposits of mineral raw materials of Kazakhstan]: reference book. Vol. I. – Almaty, 2000. – 372 p. [in Russian].
3. Esimov B.O., Rusnak V.V., Adyrbayeva T.A., Egorov Yu.V., Anashkin A.V., Adyrbayev B.O. Mineral'no-syr'evye resursy Turkestanskoy oblasti dlya tsementnykh, keramicheskikh i stekol'nykh proizvodstv [Mineral raw material resources of Turkestan region for cement, ceramic and glass industries]: monograph. – Shymkent: Alem, 2025. – 352 p. [in Russian].
4. Adyrbayev B.O. O roli polevykh shpatov v sostave mass keramogranita [On the role of feldspars in the composition of porcelain stoneware masses] // Scientific Works of South Kazakhstan State University named after M. Auezov. – 2017. – No. 4 (44). – P. 131-135. [in Russian].
5. Nori A.D. Jr., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S. Influence of composition on mechanical behavior of porcelain tile. Part 1: Microstructural characterization and developed phases after firing // Materials Science and Engineering. – 2010. – Vol. 527. – Issues 7-8. – P. 1730-1735.
6. Junior A.D.N., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S., Influence of porcelain tile starting composition on tile microstructure and mechanical properties // Qualicer. – 2008. – P. 61-73.
7. Dondi M., Ercolani G., Melandri C., Mingazzini C., Marsigli M. The chemical composition of porcelain stoneware tiles and its influence on microstructural and mechanical properties // Interceram. – 1995. – Vol. 48. P. 75-83.
8. Martín-Márquez, Rincón J.M., Romero M. Effect of microstructure on mechanical properties of porcelain stoneware // Journal of the European Ceramic Society. – 2010. – Vol. 30. – Issue 15. – P. 3063-3069.
9. Perez J.M., Romero M. Microstructure and technological properties of porcelain stoneware tiles moulded at different pressures and thicknesses // Ceramic International. – 2014. – Vol. 40. – P. 1365-1377.
10. Romero M., Perez J.M. Relation between the microstructure and technological properties of porcelain stoneware // Materiales de Construcción. – 2015. – Vol. 65. – No. 320. – P. e065.
11. Gazaleeva G.I., Buzunova T.A., Shigaeva V.N. Osobennosti obogashcheniya polevoshpatovogo syr'ya sukhimi metodami [Features of feldspar raw material beneficiation by dry methods] // Scientific foundations and practice of ore and technogenic raw materials processing. – 2021. – P. 25-28. [in Russian].
12. Guzman I.Ya. Khimicheskaya tekhnologiya keramiki [Chemical technology of ceramics]: monograph. – LLC RIF "Building Materials", 2003. – 496 p. [in Russian].
13. Sulimenko L.M. Obshchaya tekhnologiya silikatov [General technology of silicates]: monograph. – INFRA, 2010. – 336 p. [in Russian].