

УДК 666.3-032.5:666.3/.7:666.593
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-4-124-130

ФАРФОРОВЫЙ КАМЕНЬ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СЫРЬЕВОЙ КОМПОНЕНТ КЕРАМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.Ж. Жекишева

Аннотация. Рассматриваются потенциальные возможности применения керамики в различных отраслях промышленности и необходимость расширения сырьевой базы с использованием новых нетрадиционных сырьевых ресурсов – фарфоровых камней. Показаны геологические процессы образования горных пород – фарфоровых камней, их минералогический и геохимический состав, а также строение и структура. Приведены результаты исследований ранее неиспользованного нетрадиционного сырья – фарфорового камня месторождения Джаны-Джолское (Учкурт) Кыргызской Республики. По результатам петрографических и химических исследований установлено, что фарфоровый камень является серицит-мусковит-кварцевой горной породой. Это довольно перспективная новая сырьевая база для развития фарфоровой и электротехнической отрасли.

Ключевые слова: горная порода; фарфоровый камень; петрография; минерал; строение; структура; серицит; мусковит; кварц; калиевый модуль.

ФАРФОР ТАШ КЕРАМИКАЛЫК ӨНДҮРҮШ ҮЧҮН КЕЛЕЧЕКТҮҮ ЧИЙКИ ЗАТ

С.Ж. Жекишева

Аннотация. Макалада керамика өнөр жайынын перспективдүүлүгү айтылып, тармакта жаңы салттуу эмес сырьёлорду, башкача айтканда фарфор таштарды колдонуу менен керамика өнөр жайынын сырьелук базасын кеңейтүүнүн потенциалдуу мүмкүнчүлүктөрү бар экени көрсөтүлгөн. Тоо тектеринин – фарфор таштардын пайда болушунун геологиялык процесстери жана алардын минералогиялык жана геохимиялык курамы, түзүлүштөрү баяндалган. Макалада Кыргыз Республикасынын Жаңы-Жол (Учкурт) кенинин мурда пайдаланылбаган салттуу эмес чийки затты - фарфор ташын изилдөөнүн натыйжалары берилген. Петрографиялык жана геохимиялык изилдөөлөрдүн натыйжалары боюнча фарфор ташты серицит-московит-кварц тектерин фарфор жана электротехника өнөр жайын өнүктүрүү үчүн өтө перспективдүү жаңы сырьё базасы экендиги аныкталган.

Түйүндүү сөздөр: таш; фарфор ташы; петрография; минерал; түзүлүшү; структурасы; серицит; мусковит; кварц; калий модуль.

PORCELAIN STONE IS A PROMISING RAW MATERIAL COMPONENT FOR CERAMIC PRODUCTION

S.Zh. Zhekisheva

Abstract. The article shows the potential applications of ceramics in industries and the expansion of the raw material base of the ceramic industry using new non-traditional raw materials - porcelain stones. The geological processes of formation of rocks – porcelain stones, and their mineralogical and geochemical compositions, structure are shown. The article presents the results of studies of previously unused non-traditional raw materials - porcelain stone deposit Dzhany-Dzholskoye (Uchkurt) of the Kyrgyz Republic. According to the results of petrographic and chemical studies, it has been established that porcelain stone is a sericite-muscovite-quartz rock, a highly promising new raw material base for the development of the porcelain and electrical engineering industries.

Keywords: rock; porcelain stone; petrography; mineral; structure; structure; sericite; muscovite; quartz; potassium module.

В мире современных материалов керамике принадлежит довольно заметная роль, обусловленная широким диапазоном ее разнообразных физических, механических и химических свойств. Решение проблем, связанных с развитием керамического производства и созданием конкурентоспособной продукции, можно осуществить на основе внедрения инновационных технологий и обеспечения производства местными, недорогими высококачественными минеральными сырьевыми компонентами [1].

Минеральные сырьевые материалы, используемые в керамической промышленности, являются в основном неорганическими, неметаллическими, кристаллическими твердыми материалами, образовавшимися в результате сложных геологических процессов. Их керамические свойства определяются главным образом кристаллической структурой и химическим составом их основной составляющей, а также природой и количеством присутствующих сопутствующих минералов.

Следует подчеркнуть, что еще одним из слабо используемых резервов расширения и улучшения структуры сырьевой базы является освоение месторождений сравнительно нового для керамической промышленности полезного ископаемого – **так называемого фарфорового камня**.

Фарфоровые камни – группа гидротермально измененных горных пород, минеральный и химический состав которых близок к составам стандартных тонкокерамических масс. К фарфоровым камням относят продукты гидротермально-метасоматического преобразования (каолинизации, серитизации, пиррофиллитизации или хлоритизации) кислых, реже средних эффузивных и субвулканических пород, отличающихся тонкозернистой структурой, низким содержанием красящих оксидов и благоприятным составом, что позволяет использовать их в качестве исходных компонентов для изготовления керамических масс [2].

По своему минеральному составу фарфоровые камни довольно разнообразны. Согласно технологии фарфорового производства рассматривают три основных фарфорообразующих компонента: кварц – источник кремнезема; полевой шпат или его заменители (мусковит), которые служат источником оксидов щелочных металлов и выполняют функцию плавней, способствуя образованию стекловидной фазы; пластичные компоненты – глины и каолины. Выделяют четыре главных минеральных типа кварцсодержащих фарфоровых камней: каолин-кварцевый, мусковит-кварцевый, пиррофиллит-кварцевый, полевошпат-кварцевый (или кварц-полевошпатовый). Фарфоровые камни, состоящие в основном из двух минералов, встречаются довольно редко и, как правило, представляют собой ассоциацию трех или четырех породообразующих минералов (таблица 1), также неодинаков и их химический состав.

Одним из важных параметров фарфоровых камней может служить суммарное содержание оксидов щелочных металлов ($K_2O + Na_2O$), а также соотношение $K_2O:Na_2O$ (калиевый модуль). Как известно, содержание щелочей (K_2O и Na_2O), входящих в состав полевых шпатов и слюд, которые являются обязательными компонентами керамических масс и выполняют функцию плавней, способствуют образованию стекловидной фазы. По величине калиевого модуля среди фарфоровых камней различают: высококалиевые ($K_2O:Na_2O > 3,0$), калий-натриевые ($K_2O:Na_2O = 3,0-1,0$) и натриевые ($K_2O:Na_2O < 1,0$) разновидности. В производстве фарфора высококалиевые фарфоровые камни могут использоваться в качестве заменителя калиевого полевого шпата. В зависимости от суммарного содержания этих оксидов выделяют три основные разновидности фарфорового камня: бесщелочные ($R_2O < 0,6\%$), нормальной щелочности ($R_2O = 0,6-3,0\%$) и щелочные ($R_2O > 3,0\%$) [3].

При этом бесщелочные фарфоровые камни по минеральному составу представлены каолинит (диксит)-кварцевой или кварц-пиррофиллитовой разновидностями; щелочные и с нормальной щелочностью – полевошпат- или мусковит-кварцевыми разновидностями (таблица 1).

По величине калиевого модуля среди фарфоровых камней различают: высококалиевые ($K_2O:Na_2O > 3,0$), калий-натриевые ($K_2O:Na_2O = 3,0-1,0$) и натриевые ($K_2O:Na_2O < 1,0$) разновидности. Основными носителями K_2O в фарфоровых камнях служат тонкодисперсная слюда (мусковит) и полевые шпаты (микроклин, ортоклаз, адуляр), тогда как повышенное содержание в них Na_2O обычно обусловлено присутствием альбита или натриевого санидина.

Таблица 1 – Минеральный состав фарфоровых камней, %

Месторождение	Минеральный тип	Каолинит (диккит)	Пирофиллит	Мусковит	Полевой шпат	Кварц
Гусевское (Приморье)	Каолинит-кварцевый	30–40	-	5–15	-	55
Кулантюбинское (Казахстан)		20–25	-	10–15	-	50–65
Бикинское (Приморье)	Пирофиллит кварцевый	0–10	50–90	0–15	-	10–30
Фокстрап (Канада)		-	25–80	5–35	-	15–55
Сергеевское (Приморье)	Полевой шпат-кварцевый	5–12	-	-	50–60	30–35
Сан-Бернардино (США)		-	-	-	64	36
Кишкитское (Северный Кавказ)	Мусковит-кварцевый	-	-	41	-	59
Тай-хо-Кэн (КНР)		10	-	23	5	69
Нань-Кан (КНР)		-	-	28	-	58
Амакуса (Япония)		6–20	-	15–29	0,4–2,1	60–70

В мировой практике применяются все выделенные типы и разновидности фарфоровых камней, главным образом, как сырье для производства хозяйственного фарфора, электротехнических изделий и в других отраслях. Одними из основных порообразующих и носителей K_2O в фарфоровых камнях служат тонкодисперсная слюда – мусковит, серицит (таблица 2).

Мусковит – минерал, по химическому составу это алюмосиликат калия с гидроксидом $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ с мелкочешуйчатым агрегатом – *серицитом*. Кристаллы таблитчатые моноклинной системы. Спайность по базису весьма совершенная. Мусковит легко расщепляется на тончайшие листочки, что обусловливается его кристаллической структурой, сложенной 3-слойными пакетами из 2-х листов кремне- и алюмоокислородных тетраэдров, соединённых через слой, составленный из октаэдров, в центре которых расположены ионы Al, окружённые 4-мя ионами кислорода и 2-мя группами OH, 1/3 октаэдров, не заполненных ионами Al. Пакеты соединены между собой ионами калия. Мусковит встречается в виде сплошных мелкочешуйчатых агрегатов и неправильных по форме шестигранных или ромбовидных пластинок, иногда с неравномерно развитыми гранями. Скрыто-чешуйчатые массы с шелковистым блеском называются серицитом (рисунок 1) [3].

Серицит – минерал класса силикатов, мелкодисперсный, это частично гидратизированная разновидность мусковита. Серицит формируется в условиях гидротермального процесса минералообразования при замещении первичных минералов, как правило полевых шпатов (серицитизация), также известно метаморфическое образование серицита (серицитовые сланцы, филлиты). Серицит образует гибкие, упругие листочки; встречается в виде мелко-, тонко- скрыточешуйчатых агрегатов. В целом, универсальность и уникальные свойства мусковит-серицита делают его ценным материалом для различных промышленных применений [4, 5].

Таблица 2 – Химический состав кварцсодержащих фарфоровых камней

Содержание оксидов, масс. %										
Минералогический тип	Месторождение	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ППП
Каолинит (диксит)-кварцевый	Гусевское, Россия Приморье	76,2	0,19	16,80	0,30	0,15	0,29	0,11	0,75	5,00
	Кулантубинское, Казахстан	74,5–85,0	74,5–85,0	9,79–16,5	0,1–0,3	0,1–0,3	0,05–0,15	0,04–0,60	0,08–0,6	4,05–10,4
Пирофиллит-кварцевый	Бикинское, Россия Северный Кавказ	64,15	0,96	25,24	0,61	1,08	0,30	0,88	1,92	4,88
	Фокстрап, Канада	63,5–81,1	0,07–0,23	8,8–32,8	0,08–0,45	0,05–0,24	0,06–0,17	0,01–0,02	0,3–3,90	2,3–5,6
Мусковит-кварцевый	Кишкитское, Россия	79	Следы	13,20	0,83	0,16	0,25	0,06	3,10	2,08
	Нань-Кан, КНР	74,26	0,09	16,93	0,62	0,77	0,36	0,3	3,15	3,68
	Амакуса, Япония	74,48	Следы	14,39	1,03	0,54	Следы	0,34	3,05	3,22
Полевощпат-кварцевый	Сергеевское, Приморье, Россия	69,9–78,3	0,027	12,3–15,9	0,24–0,30	0,3–0,49	0,06–0,42	2,22–2,70	4,42–9,25	0,88–1,74
	Безенги, Северный Кавказ, Россия	78,32	0,10	10,89	0,54	0,35	0,35	0,19	8,10	0,46–1,46
	Маджи, Австралия	73,5	0,19	12,7	0,46	0,46	1,35	0,90	7,00	2,5
	Биркенфельд, ФРГ	73,2–76,2	0,10	14,5–15,8	0,15–0,70	0,15–0,70	0,08–0,32	0,74–2,10	4,70–10,5	2,57
	Тайсю, Япония	79,9	0,10	12,54	0,26	0,26	0,86	6,46	0,18	0,78
	Сан-Бернардино, США	76,6–77,8	Следы	13,5–14,3	0,15–0,32	0,15–0,32	0,22–0,51	6,74–7,56	0,07–0,08	0,49–0,78

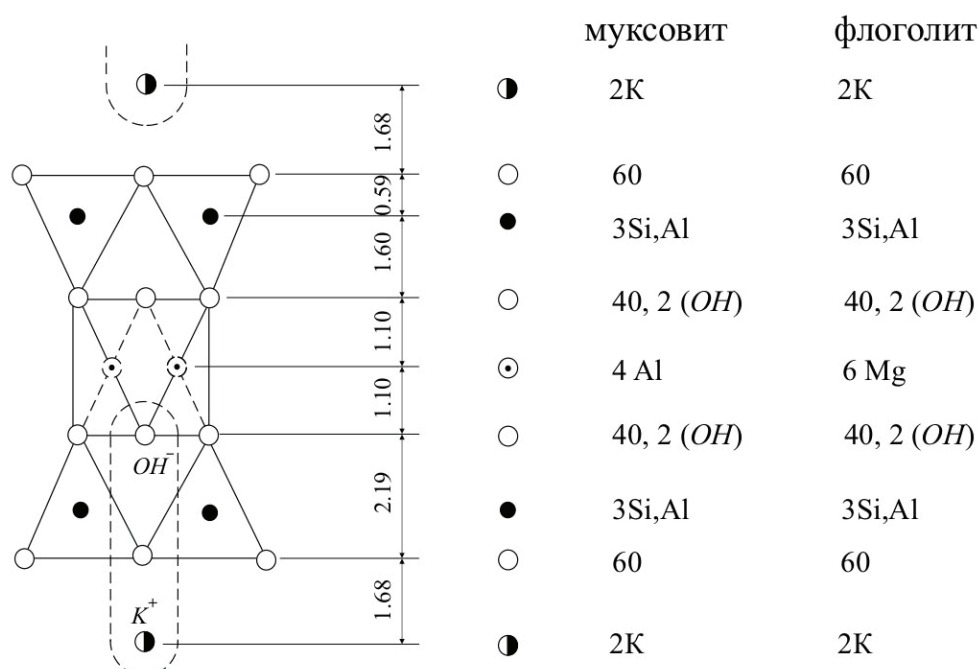


Рисунок 1 – Последовательность атомов в пакете кристалла слюды и количество атомов на одну элементарную ячейку. Толщина слоев приведена в ангстремах

Проведенный анализ данных по минерально-сырьевой базе Центральной Азии позволил установить, что на ее территории расположены крупные месторождения весьма перспективных для производства керамики сырьевых материалов: мусковит-серицитовая горная порода – фарфоровых камней, волластонитов, огнеупорных глин, сиенита, кварца, кварц-полевошпатовых песков, фосфоритов, техногенных сырьевых ресурсов и др.

В настоящее время особый интерес представляет нетрадиционное сырье – фарфоровый камень Джаны-Джолского (Учкурт) месторождения Кыргызской Республики, который относится к перспективным месторождениям фарфорового камня [6]. Структура месторождения сформировалась благодаря наличию покровного пластинчатого строения толщи вулканогенных пород пачки. Интрузия окружена ареалом нормального контактного метаморфизма шириной до 30–50 м и более широким (до 1 м) ареалом гидротермально проработанных пород – окварцованных, коалинизированных, пиритизированных. Вблизи интрузии, а также над ее нескрытой апикальной частью в зонах повышенной трещиноватости эффузивы гидротермально изменились и превратились в слоистые, мягкие сланцеватые породы, жирные на ощупь. На месторождении выделено три участка, которые располагаются в 300 м друг от друга и различаются между собой по литологическому составу. Установлено, что фарфоровый камень этого месторождения относится к серицитизированным и коалинизированным вулканитам, образовавшимся в результате гидротермальных процессов. А по результатам петрографических исследований он является серицит-мусковит-кварцевым сланцем. Микроскопически это порода белого цвета с легким сероватым оттенком, сланцевой текстуры, состоящая из кварца – 60–65 %, серицита – 35–40 %, аксессуарных минералов (циркон, сфен, флюорит, гематит, апатит) до 1–2 % [6].

Порода в основном состоит из кварца (от 0,04 до 0,15 мм), присутствующего в виде зерен изометричной, брусковидной, слегка вытянутой по сланцевости формы. Циркон представлен единичными длиннопризматическими с бипирамидальным окончанием кристаллами, включенными в большинстве случаев в кварц. Размер кристаллов колеблется от 0,01 до 0,1 мм. В большинстве случаев они мутные,

Таблица 3 – Химический состав фарфорового камня Джаны-Джольского месторождения

Индекс пробы	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ППП	SO ₃	Fe ₂ O ₃ ⁺ FeO	K ₂ O+ Na ₂ O	Калиевый модуль
ФК-1	82,67	0,08	0,01	-	0,01	11,56	0,49	0,51	0,60	2,61	1,91	0,19	0,09	3,21	4,40
ФК-4	81,10	0,62	0,02	0,01	0,00	12,01	0,51	0,46	0,96	3,08	1,88	0,13	0,62	4,04	3,20
ФК-5	80,93	1,01	0,09	0,03	0,01	12,01	0,60	0,53	0,70	3,05	1,05	0,30	1,10	3,75	4,40
ФК-6	81,07	0,68	0,08	0,07	0,00	11,78	0,62	0,42	0,40	3,67	1,27	0,20	0,76	3,69	9,10
ФКП-1	78,05	0,76	0,71	0,15	0,012	11,40	0,77	0,51	0,44	3,10	2,05	0,31	1,49	3,48	7,70
ФКП-9	79,25	0,87	0,90	0,17	0,02	11,60	0,80	0,56	0,49	3,19	1,92	1,52	1,80	3,63	7,42
ФКПВ-1	78,53	1,00	0,90	0,06	0,01	11,40	0,70	0,50	0,40	3,16	1,95	0,56	1,70	3,60	8,20
ФКПВ-2	77,00	0,70	0,82	0,09	0,09	10,90	0,34	0,40	0,45	3,30	1,88	0,35	1,30	3,70	7,50
ФКПС-1	78,80	0,90	1,22	0,13	0,02	11,80	1,00	0,70	0,40	3,20	1,94	0,20	2,30	3,70	9,50

полупрозрачные, окрашены в грязно-серый цвет. Флюорит образует кубические кристаллы в промежутках между зернами кварца и мусковита. Структура породы гранолепидобластовая, участками нематобластовая. Нередки участки развальцевания и рассланцевания. Особенность этой породы – обильная вкрапленность рудного материала и аксессуаров. Исследованные фарфоровые камни могут быть отнесены к мусковит (серицит)-кварцевому биминеральному типу. Одним из важнейших компонентов фарфоровых камней является оксиды железа и титана, содержание которого в высших сортах пород не должно превышать 0,5 %, допустимы содержания до 1 %. Основной материал – носитель вредной примеси – оксида железа, присутствует в породе в виде мелкой рассеянной вкрапленности (размер зерен 0,01–0,2 мм). Отмечено также наличие пленок лимонита и гематита. Как видно из данных таблицы 2, содержание оксида Fe_2O_3 достигает 1,12 %, оксида TiO_2 – 0,13 %. В технологической схеме при переработке фарфоровых камней нужно предусмотреть метод магнитной сепарации. В их состав входит много кремнезема и щелочей при очень высоком калиевом модуле, количество глинозема наблюдается в большинстве случаев на уровне японских фарфоровых камней и ниже – китайских и гусевских (12–13 %). Обращают на себя внимание низкие потери при прокаливании. Оценивая минералогический состав фарфорового камня месторождения Джаны-Джол (Учкурт), в зависимости от типа фарфора и состава используемого камня, в керамическую массу необходимо добавлять некоторое количество каолина и пластичной глины. Важнейшим критерием качества сырья является содержание щелочей. [6]. Имеются зерна микроклина, в большом количестве – чешуйки слюды-мусковита. Данные химического анализа приведены в таблице 3.

Как видно из данных таблицы 3, содержание оксидов железа и титана в породах достигает от 0,09 до 1,9 %, что отрицательно сказывается на качестве готовых фарфоровых изделий.

Характерно невысокое (в среднем около 3,6 %) количество оксидов щелочных металлов при постоянном преобладании оксида калия над оксидом натрия ($\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O} = 3.3:0.4$). Согласно [2, 3], фарфоровый камень месторождения Джаны-Джол (Учкурт) относится к группе высококалиевых ($\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O} > 3.0$). Содержание SiO_2 в составе фарфорового камня достигает до 75 %.

Фарфоровый камень этого месторождения представлен довольно рыхлой породой, легко поддающийся измельчению. Помимо мелкозернистого мусковита возможно получение кварцевых концентратов разной крупности, чистоты и соответственно разного назначения. Кварцевые концентраты фракции 0,415–0,1 мм соответствуют требованиям к сырью для производства фарфоровых изделий различного назначения и являются серицит-мусковит-кварцевой горной породой.

Таким образом, комплексное изучение и освоение нового вида минерального сырья – фарфорового камня месторождения Джаны-Джол (Учкурт) позволит расширить сырьевую базу керамического производства, повысить его инвестиционную привлекательность как минерально-сырьевого комплекса в экономике. Это даст новый импульс для развития многих направлений в производстве керамики: тонкой, технической, строительной, производству стекла и других отраслей промышленности страны.

Поступила: 24.03.2025; рецензирована: 08.04.2025; принята: 10.04.2025.

Литература

1. Шишкина О.А. Применение керамических материалов в строительстве / О.А. Шишкина, А.А. Паламарчук // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 3. С. 83–88.
2. Васянов Г.П. Фарфоровые камни / Г.П. Васянов, В.Ф. Горбачев // Неметаллические полезные ископаемые СССР. М.: Недра, 1984. С. 125–134.
3. Магидович В.И. Фарфоровые камни / В.И. Магидович, В.И. Финько // Новые виды неметаллических полезных ископаемых. М.: Наука, 1975. 240 с.
4. Камень фарфоровый. Геол. словарь. М.: Недра, 1973. С. 302–303.
5. Большая российская энциклопедия – электронная версия: bigenc.ru. Архивировано 27 августа 2017 г.
6. Жекишева С.Ж. Перспективы использования фарфорового камня месторождения Джаны-Джольское (Учкурт) Кыргызской Республики / С.Ж. Жекишева, У.А. Амираев, А.И. Даутова, В.А. Глубоков // Вестник КРСУ. 2016. Т. 16. № 7. С. 84–88.