

**АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР**

**НАУЧНЫЕ  
ДОКЛАДЫ**



**УРАЛ - НОВАЯ  
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОВИНЦИЯ  
ФАРФОРОВОГО КАМНЯ**

**СВЕРДЛОВСК**

Академия Наук СССР  
Уральский научный центр  
Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого

Препринт

**УРАЛ — НОВАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОВИНЦИЯ  
ФАРФОРОВОГО КАМНЯ**

Свердловск, 1987

УДК : 553.6 (470.5)

УРАЛ – НОВАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОВИНЦИЯ ФАРФОРОВОГО КАМНЯ  
Препринт. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987

В работе дается подробное, всестороннее описание фарфоровых камней, местонахождения которых установлены на севере Урала. Минералогические и геохимические данные, а также результаты лабораторных испытаний ряда представительных проб фарфорового камня севера Урала позволяют сделать вывод о соответствии сырья и получаемой из него продукции требованиям промышленности. Намечены оптимальные технологические режимы спекания проб. На основе предварительной оценки даны ориентировочные цифры запасов нового сырья на севере Урала. Сделан вывод о перспективности освоения этого вида сырья в Коми АССР. Наряду с этим, дана общая оценка Урала в целом как новой провинции фарфорового камня, определены перспективные районы поисков и первоочередные районы разведки и технологической оценки сырья.

Препринт рассчитан на геологов и технологов, занимающихся проблемами сырья для стекольно-керамической промышленности.

Авторский коллектив: Б.А. Голдин, Б.И. Дудкин, Е.П. Калинин, В.П. Марков, В.Н. Пучков, К.Г. Попов, В.П. Рузов, Н.А. Тихонов, С.О. Шубейкина.

Ответственные редакторы:

доктор геолого-минералогических  
наук В.Н. Пучков

кандидат геолого-минералогических  
наук Л.В. Анфимов

Рецензент

кандидат геолого-минералогических  
наук С.Г. Червяковский

© УНЦ АН СССР, 1987

У  $\frac{20803 - 56 ( 87 )}{055 (02) 7}$  БО – 1987

## Введение

Современная промышленность испытывает все возрастающую потребность в продуктах стекольного и керамического производства, ассортимент которых непрерывно увеличивается, а сфера применения расширяется. Наряду с такими уже ставшими традиционными областями как производство художественных и хозяйственных изделий, деталей для электро- и радиотехнической промышленности и др. керамика начала находить в экспериментальном плане такие неожиданные и парадоксальные применения, как, например, производство двигателей внутреннего сгорания, где металлические детали заменены керамическими. Как отметил в своем докладе на 27 съезде КПСС Председатель Совета Министров СССР тов. Н.И. Рыжков, огромные перспективы перед нашей промышленностью открывает использование принципиально новых конструкционных материалов, и в частности, так называемых композитов, которые многократно превосходят по своим свойствам применяемые в настоящее время (в 12 пятилетке изготовление композитов возрастет в 10–12 раз) [30]. И здесь также потребуются стекольно-керамическое сырье, спрос на которое будет увеличиваться все возрастающими темпами, усугубляя и без того напряженное положение с его запасами. В этой связи следует подчеркнуть, что одним из еще слабо используемых резервов расширения и улучшения структуры сырьевой базы являются поиски и освоение месторождений сравнительно нового для нашей страны полезного ископаемого, – так называемого фарфорового камня.

### I. Общие сведения о фарфоровых камнях

К фарфоровым камням обычно относят [19, 25, 5] продукты гидротермально-метасоматического изменения вулканических пород кислого и среднего состава. Для них характерны тонкозернистость, низкое содержание красящих окислов, а также присутствие в нужной пропорции кремнезема, глинозема и щелочей, что позволяет использовать их без обогащения в качестве основного или корректирующего компонента в составах керамических (фарфоровых) масс. В некоторых случаях определенные разновидности фарфорового камня используются для производства особых видов стекла и огнеупоров.

Фарфоровые камни с древних времен используются в Китае, Японии и Корее для изготовления высококачественных тонкокерамических художественных и бытовых изделий, часто превосходящих изделия, выполненные из стандартных видов керамического сырья. Например, фарфоровый камень месторождения Амакуса в Японии (табл. 1, ан. 2) применяется в производстве высокосортной фарфоровой посуды и высоковольтных изоляторов, обладающих хорошими электрофизическими и механическими показателями.

В нашей стране первыми исследователями этого вида сырья были В.П. Петров, В.И. Финько, В.И. Магидович, И.Ф. Романович. Первым месторождением, разведанным и пущенным в эксплуатацию в 60-х годах, было Гусевское, расположенное в 120 км к северо-востоку от Владивостока [24, 25]. На фарфоровом камне Гусевского месторождения работает Артемовский фарфоровый завод на Дальнем Востоке и в ограниченном количестве он поступает на Ленинградский завод имени Ломоносова для изготовления высокохудожественных и особо важных электрокерамических изделий. Большинство же существующих фарфоровых заводов СССР, работающих на стандартных керамических видах сырья, получают их в основном из трех различных экономических районов. Полевые шпаты везут из Карелии, кварцевые пески – из Подмосковья, каолин – с Украины, а бентонитовые глины – из Средней Азии, что в конечном итоге сказывается на себестоимости изделий. Другая, более важная проблема заключается в том, что не только в СССР, но и во всем мире чувствуется острая нехватка сырья, входящего в состав керамической шихты. Особенно дефицитным является калиевый полевой шпат.

По своему минеральному составу фарфоровые камни довольно разнообразны. Выделяют [5] четыре основных типа кварцсодержащих фарфоровых камней: каолинитовый (диккитовый), пирофиллитовый, полевошпатовый и серицитовый. В полевошпатовом типе выделяют две разновидности: калишпатовую и альбитовую.

Неодинаков и химический состав фарфоровых камней. На основании зарубежной практики и лабораторных исследований измененных липаритов и дацитов В.И. Магидович и В.И. Финько [25] указывали следующие требования к фарфоровым камням, используемым промышленностью: породы должны иметь серицито-каолинито-кварцевый или полевошпато-серицито-кварцевый состав, с содер-

жанием глинозема не ниже 12%, а кремнезема – не выше 80%; количество щелочей не лимитируется, но желательно не менее 1,5–2,0; при отношении  $K_2O/Na_2O$  выше 4:1; содержание красящих окислов не более 1,0% (для высших сортов – не более 0,5%); сумма щелочноземельных окислов ( $CaO + MgO$ ) должна быть не выше 1,0% (табл. 1).

Эти требования, однако, не являются общепризнанными (сравни с [19, 5]), и могут служить лишь одним из основных ориентиров при предварительной оценке потенциального сырья. Единых требований промышленности к качеству фарфоровых камней в СССР не разработано, и их оценка производится дифференцированно с учетом минерального типа и результатов промышленных испытаний. Особенно большое разнообразие разновидностей фарфоровых камней, по [5], обусловлено различным содержанием щелочей ( $K_2O$  и  $Na_2O$ ), входящих в состав полевых шпатов и слюд, которые являются обязательными компонентами керамических масс, выполняя функцию плавней, способствуя образованию стекловидной фазы. Цитированные авторы [5] различают три разновидности фарфоровых камней по сумме щелочей: щелочные ( $K_2O + Na_2O > 3\%$ ), умеренной щелочности (сумма щелочей 0,6–3%) и бесщелочные (сумма щелочей  $< 0,6\%$ ). По соотношению  $K_2O/Na_2O$ , называемому калиевым модулем, различаются высококалиевые, калий-натровые и натриевые (соответствующие значения калиевого модуля  $> 3$ ,  $1-3$  и  $< 1$ ). Наиболее дефицитны высококалиевые фарфоровые камни, которые могут использоваться в качестве заменителя калиевого полевого шпата.

В настоящее время в СССР насчитывается более десятка месторождений, выделяются три геологические провинции (Сихотэ-Алинская, Казахстанская, Кавказская), с которыми связываются основные перспективы дальнейшего выявления промышленных месторождений фарфорового камня [5]. Исходя из общегеологических предпосылок (развитие вулканоплутонических формаций, кислото вулканизма, зон аргиллитизации и массивов вторичных кварцитов), оконтурен еще ряд провинций (Закарпатская, Тянь-Шанская, Алтае-Саянская), перспективных на фарфоровые камни.

Что же касается Урала, то он до самого последнего времени не числился в составе провинций, перспективных на обнаружение месторождений фарфорового камня; высказывалось даже мнение, что

в древних, эродированных складчатых областях зоны метасоматического изменения эффузивов, будучи близповерхностными, в основном подверглись эрозии [5]. Этому, впрочем, противоречит пример Казахстана.

Учет особенностей геологии Урала, с одной стороны, и требований уральской промышленности – с другой, побудили авторов данной работы (сотрудников Сыктывкарского госуниверситета, Коми филиала АН СССР и Института геологии и геохимии УНЦ АН СССР) пересмотреть устоявшиеся представления. Основным результатом исследований было обнаружение фарфоровых камней на севере Урала на отрезке от хр. Пайпудынский до верховий р. Щугор и обоснование высокой перспективности остальной части Урала на указанный вид сырья.

## 2. Фарфоровые камни севера Урала

Исследования, проведенные на севере Урала, позволили выявить аналоги фарфоровых камней среди метасоматически измененных разностей трахилипаритов и липаритов, развитых здесь в составе широко распространенных позднедокембрийских и раннепалеозойских вулканогенных толщ. Наиболее перспективными на поиски месторождений фарфоровых камней являются участки развития измененных пород в бассейнах рек Изьяшор, Пайпудыны, Лемвы, Балбанью, Лимбекаю, Няртасюю и т.д. (рис. 1).

Анализ минерально-петрографического и химического составов кислых аповулканитов севера Урала позволяет наметить два основных типа фарфоровых камней: капканвожский и сивягинский.

Фарфоровые камни капканвожского типа – это плотные и рассланцованные мелкозернистые светлые породы белого, желтоватого и голубоватого цвета, часто о сохранившейся кварц-порфировой структурой. Состав пород – серицит-кварцевый или пиррофиллит-серицит-кварцевый (таким образом, фарфоровые камни относятся к пиррофиллитовому и серицитовому минеральным типам, по [5]). Местами среди пород пиррофиллит-серицит-кварцевого состава наблюдаются мономинеральные кварцевые жилы, иногда ассоциирующие с мощными (до 10 м) линзовидными телами пиррофиллита (северный склон г. Манараги, истоки р. Лимбекаю и др.). Наибольшее развитие фарфоровые камни капканвожского типа получили в истоках рек Манараги (рис. 2), Лимбекаю, Балбанью, Нярт-

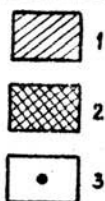
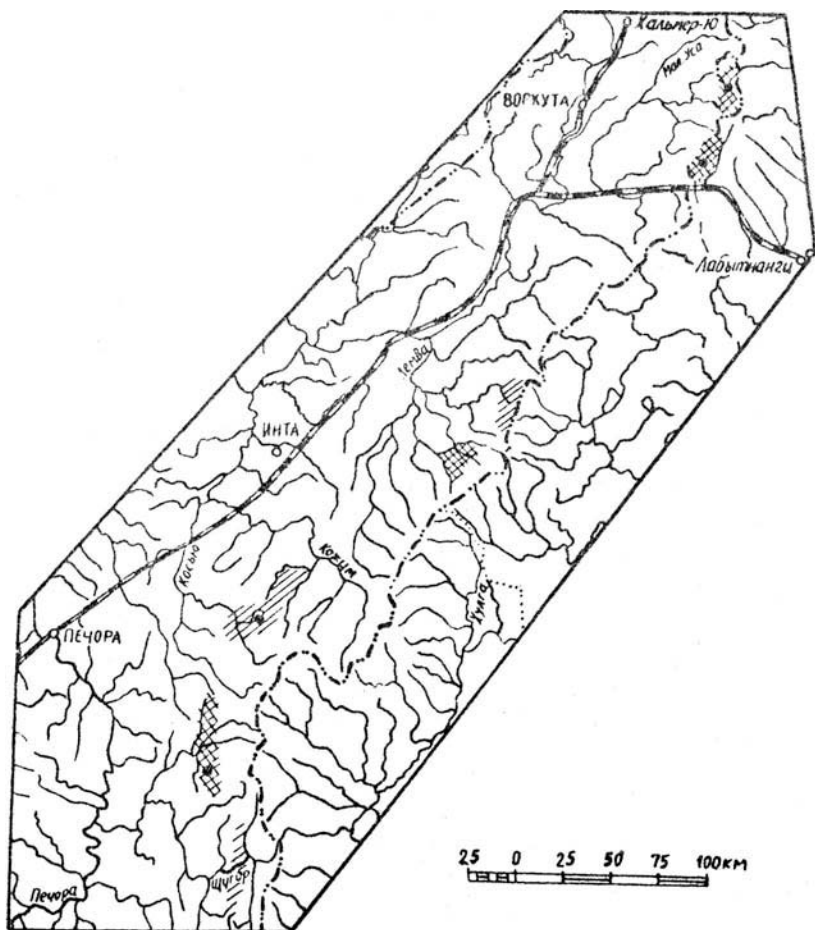


Рис. 1. Зоны развития типов фарфоровых аповулканитов севера Урала: 1 – капканвожский тип; 2 – сивягинский тип; 3 – места взятия проб



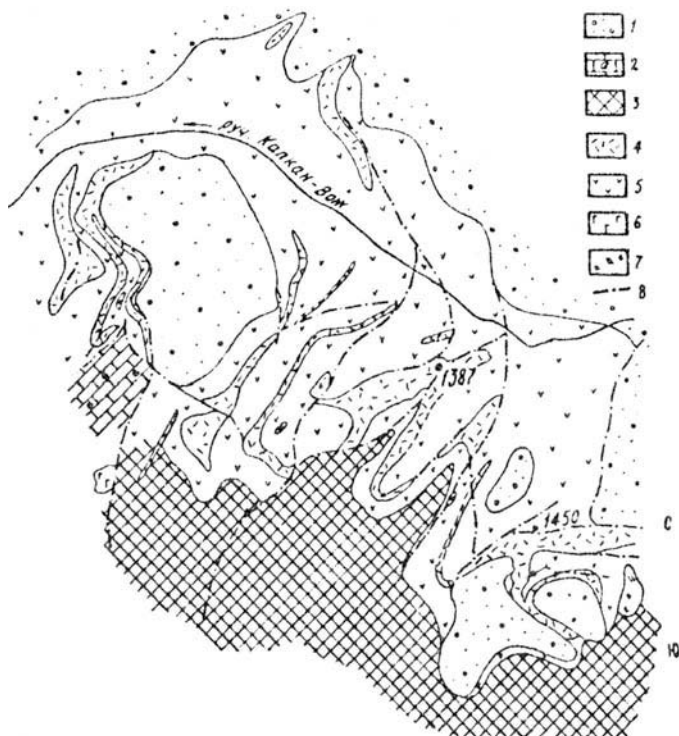


Рис. 2. Схема геологического строения Косью-Капканвожского участка  
 Ордовик – 1 – конгломераты, кварцито-песчаники. Венд – нижний кембрий: 2 – мраморизованные доломиты со строматолитами; 3 – кварц-серицит-известковые сланцы с линзами карбонатных пород и кварцитов; 4 – фарфоровые аповулканиты; 5 – поля распространения манарагского базальтового комплекса; 6 – габбро; 7 – пиррофиллитовые породы; 8 – разломы.

тасюю и в районе хр. Пайпудынского (рис. 3), где они слагают либо отдельные измененные зоны среди кремнекислых вулканитов, либо целиком штоко- и дайкообразные тела измененных вулканитов, имеющие длину от нескольких метров до 2–3 км. Вулканиты прорывают породы венд-раннекембрийского манарагского базальтового комплекса или залегают на них и перекрываются песчаниками ордовика.

Фарфоровые камни сивягинского типа представляют собой тонкозернистые породы голубовато-зеленовато-серого и светло-кремового цвета, имеющие почти мономинеральный калишпатовый состав; в незначительных количествах присутствуют кварц и серицит. Ближе всего они к полевошпатовому минеральному типу [5], однако выгодно отличаются от известных представителей этого типа низким содержанием свободного кварца. Сивягинские фарфоровые камни встречаются в истоках рек Б. Усы, Пайпудыны, Грубею, Лемвы, Седью, Потемью, Сивяги, Няртасюю и др. Калишпатовые вулканиты образуют экструзивные тела или эндоконтактные залежи в пределах этих тел, маркирующих зоны тектонических нарушений. Тела эти обычно выдержаны по мощности, простираанию и падению, размерами от первых метров до  $200 \times 100 \times 30$  м и более, с объемом до 1,5 млн.м<sup>3</sup>.

### 3. Химический состав фарфоровых камней

Химический состав фарфоровых камней наиболее известных месторождений мира и СССР приведен в табл. 1, химический состав изучаемых аповулканитов севера Урала – в табл. 2 и 3.

Главными компонентами химического состава фарфоровых камней являются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ , которые в сумме в породе составляют до 94–98%. При этом пределы колебания каждого из этих компонентов достаточно разнообразны:  $\text{SiO}_2$  от 73 до 80%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 12 до 17%,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  от 1 до 6,5% (табл. 1).

Изучаемые аповулканиты (табл. 2) в основном укладываются в вышеуказанные параметры, однако их отличает тенденция более повышенных содержаний щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) и наоборот, более низких значений  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Это особенно отчетливо видно на тройной диаграмме  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (рис. 4), где сведены

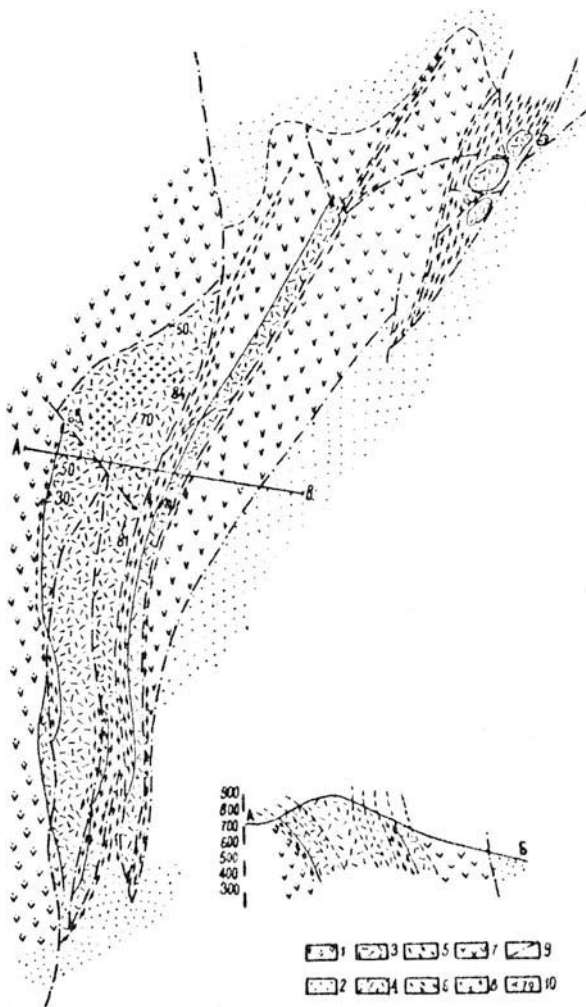


Рис. 3. Геологическая карта северной оконечности  
хр. Б. Пайпудынского [7]

Ордовик: 2 – песчаники; 3 – липаритовые фельзит-порфиры; 4 –  
эруптивные брекчии; 5 – серицито-кварцевые породы (аполипартиты);  
8 – столбчатая отдельность липаритов. Венд: 1 – туфопесчаники,  
метабазальты; 6 – хлоритовые сланцы; 7 – метабазаьты

Таблица

## Химический состав фарфоровых камней наиболее известных зарубежных месторождений и месторождений СССР, вес %

Оксиды	Япония			КНР				КНДР			СССР, Гусевское месторождение (Приморский край)				СССР		
	Амакуса	Идзу-си	Тай-сю	Нань-Кан	Сань-Бао-Пэнь	Чи-Мьянь	Тай-Хо-Кэн	Депхен	1,5	50 кг	100	1	5	10		11	12
SiO <sub>2</sub>	78,52	80,60	79,90	74,06	75,08	73,05	75,47	76,80	75,66	76,26	76,81	77,38	74-78				
TiO <sub>2</sub>	сл	0,34	нет	0,10	0,05	0,14	0,09	0,15	сл	0,19	сл	0,23	0,17-0,19				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,24	14,83	12,54	11,30	16,01	15,75	16,61	15,76	15,21	16,98	16,80	16,54	16,13				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,61	0,41	0,29	0,26	1,41	0,57	0,56	0,33	0,41	0,18	0,30	0,08	0,38				
CaO	0,20	0,18	0,32	0,86	0,28	0,04	1,82	1,23	1,20	0,10	0,15	0,15	нет				
MgO	сл	сл	0,48	0,22	0,60	0,41	0,34	0,21	0,49	0,14	0,29	0,13	0,36				
K <sub>2</sub> O	2,56	2,19	1,22	0,18	3,30	4,08	3,75	3,70	2,42	2,00	0,75	1,36	0,11				
Na <sub>2</sub> O	0,34	0,30	0,79	6,46	1,97	2,52	0,58	0,32	0,09	0,11	0,06	0,09	0,05-0,19				
п.п.п.	3,31	3,76	3,64	0,78	2,20	1,32	3,87	2,66	3,01	4,79	5,00	4,71	5,39				
Сумма	99,78	100,56	99,88	100,06	99,90	99,95	99,67	99,88	100,00	99,94	99,85	99,74	100,07				
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	2,90	2,49	2,01	6,64	5,27	6,60	4,33	4,02	2,42	2,09	0,86	1,42	0,20				
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	7,53	7,3	1,54	0,03	1,67	1,62	6,46	1,16	22,2	6,82	22,7	1,22					

\* Из Нормативов промышленности к качеству минерального сырья [10].

Таблица 2  
Химический состав изученных аповулкаников севера Урала, вес %

Оксиды Mn, Fe анализа на рис. 4	Капканвожский тип										Сивягинский тип							
	руч. Капканвож, район г. Манараги					руч. Няргасюю, район г. Тельюс-Из					Б.Ханта-лам-ба	р. Грубею						
	145	1387a	389	1398	1387 II	1387	1387	398	1386	306			8	600	598	1369	160	1580
SiO <sub>2</sub>	69,82	65,97	74,9	78,28	77,72	78,54	76,50	76,50	77,62	78,13	77,83	79,58	76,07	77,79	76,94	78,40	78,50	
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,91	0,15	0,15	0,21	0,15	0,20	0,15	-	0,21	0,18	0,20	0,10	0,28	0,27	0,08	0,11	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,46	19,65	12,52	11,67	12,59	11,54	11,6	12,28	11,22	11,63	11,45	11,35	12,84	12,94	12,67	11,59	10,83	
PF <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>*)</sup>	0,75	1,44	0,89	0,68	1,06	0,79	0,72	1,40	0,43	0,11	1,08	0,75	0,87	0,64	0,37	0,77	1,02	
PF <sub>2</sub> O <sup>*)</sup>	1,58	1,03	0,49	0,60	0,50	1,03	0,24	0,26	0,80	0,43	0,44	0,11	0,43	0,14	0,29	0,06	0,06	
CaO	0,14	н/обн.	0,21	0,22	0,36	0,47	1,24	0,39	0,62	0,20	0,08	0,37	0,60	0,25	0,21	0,27	0,03	
MgO	0,71	0,78	0,87	0,43	0,61	0,98	0,94	1,59	0,11	0,28	0,97	0,46	0,21	0,60	0,30	0,06	0,18	
K <sub>2</sub> O	4,77	6,39	8,12	5,82	4,24	3,96	6,56	3,96	5,32	8,79	4,33	1,50	4,50	3,72	5,84	5,48	7,86	
Na <sub>2</sub> O	4,10	0,16	0,19	0,12	0,52	0,11	1,69	0,11	2,75	0,08	2,56	4,31	3,68	2,75	1,75	1,77	0,54	
п.п.п.	2,75	3,18	1,57	1,66	0,20	2,28		2,99	0,66	0,12	0,59	0,87	0,87	1,15	0,67			
Сумма	99,76	99,56	99,95	99,65	100,03	99,58		99,68	99,65	100,00	99,53	99,51	100,28	100,28	99,37	99,57	99,58	
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	8,87	6,55	8,31	5,94	4,76	4,07	8,25	4,07	8,07	8,87	6,89	5,81	8,18	6,47	7,59	7,25	8,40	
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1,1	39,9	40,6	48,5	8,1	36	3,8	36	1,9	109	1,6	0,3	1,2	1,4	3,7	3,1	14	

<sup>\*)</sup> Пробы дробились в стальной ступке.

Таблица 3

Химический состав исследованных аповулканигов севера Урала  
до (исходный состав) и после магнитной сепарации

Оксиды	Исходный состав (капканвожский тип)				После магнитной сепарации				Исходный состав (свиягинский тип)				После магнитной сепарации				
	1450a	1450б	1387-1	1450a	1450a	1450a+б	1387-1	3000	3000a	3000б	3000a	3000б	3000	3000a	3000б	3000a	3000б
	32	33	34	35	36	38	37	41	42	43	44	45	44	45	46	45	46
SiO <sub>2</sub>	74,40	77,49	78,47	78,76	70,19	74,28	76,34	71,48	79,96	77,46	77,00	79,66	77,00	79,66	75,90	79,66	75,90
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,21	0,14	0,24	0,37	0,33	0,24	0,50	0,38	0,33	0,29	0,27	0,29	0,27	0,31	0,29	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,14	14,08	12,66	13,55	18,97	16,31	13,12	13,94	9,62	10,47	11,88	10,50	11,88	10,50	12,16	11,88	12,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,94	1,43	0,76	0,70	1,23	0,98	0,75	0,74	0,40	1,48	0,51	0,48	0,51	0,48	1,02	0,51	1,02
FeO	0,04	0,06	0,13	0,07	0,06	0,06	0,65	0,14	0,04	0,14	0,09	0,14	0,09	0,14	0,13	0,09	0,13
CaO	0,24	0,25	0,06	0,18	0,18	0,24	0,67	0,60	0,60	0,54	0,36	0,24	0,36	0,24	0,36	0,36	0,36
MgO	0,25	0,70	0,21	0,18	0,35	0,22	0,34	0,51	0,17	0,21	0,31	0,22	0,31	0,22	0,09	0,31	0,09
K <sub>2</sub> O	4,16	2,36	5,41	3,49	4,97	4,32	4,37	9,04	5,57	6,40	7,20	6,09	7,20	6,09	7,10	7,20	7,10
Na <sub>2</sub> O	0,57	0,27	0,18	0,50	0,62	0,54	1,02	1,56	2,08	1,72	1,40	1,47	1,40	1,47	2,06	1,40	2,06
п.п.л.	2,67	2,82	1,61	1,76	2,45	2,12	1,99	1,09	1,12	0,75	0,46	0,33	0,46	0,33	0,15	0,46	0,15
Сумма	99,73	99,59	99,63	99,43	99,39	99,40	99,49	99,60	99,94	99,50	99,50	99,40	99,50	99,40	99,28	99,50	99,28
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	4,73	2,63	5,59	3,99	5,59	4,86	5,39	10,60	7,65	8,12	8,60	7,56	8,12	7,56	9,16	8,60	9,16
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	7,30	8,74	30,06	6,98	8,02	8,00	4,28	5,80	2,68	3,72	5,14	4,14	5,14	4,14	3,45	5,14	3,45

химические составы изучаемых пород (табл. 1–3, 5–8). В отдельных же случаях составы аповулканитов севера Урала полностью идентичны составу фарфоровых камней КНР (например, № 1450а и № 1450а+б – оба капканвожского типа, близки составам фарфоровых камней из месторождений КНР – №№ 5, 6, 7 – на рис. 4). И наоборот, один анализ фарфоровых камней из месторождения Тайсю (№ 4 на рис. 4) в связи с минимальным среди фарфоровых камней содержанием  $Al_2O_3 = 11,30\%$  попадает в поле распространения фарфоровых аповулканитов севера Урала (№№ 1387–1, 1398, 600, 598, 3000а и другие).

Фарфоровые аповулканиты капканвожского типа севера Урала содержат почти все необходимые компоненты фарфоровой и фаянсовой массы (глинозем, кремнезем, щелочи), отличаются однородностью состава (табл. 2). 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 (табл. 1, 2). В зависимости от типа фарфора и состава используемого камня в керамическую массу, по-видимому, будет необходимо добавлять некоторое количество каолина и пластичной глины.

Оценивая химический состав сивягинских фарфоровых камней, полезно иметь в виду не только валовое содержание окислов в породе, которое в целом находится в пределах кондиций (табл. 2). Поскольку эти породы состоят в основном из полевых шпатов, с подчиненным содержанием свободного кварца, следует обратить внимание также на состав полевых шпатов, приведенный в табл. 4. Как видно из таблицы, полевые шпаты в основном отвечают требованиям ГОСТа к качеству минерального сырья данного типа.

Одним из важнейших компонентов фарфоровых камней является железо, содержание которого в высших сортах пород не должно превышать 0,5%, допустимы содержания до 1%. В эталонных образцах (табл. 3) содержание  $Fe_2O_3$  колеблется от 0,08 до 1,41%, но в большинстве случаев – ниже 0,5%. В фарфоровых аповулканитах Приполярного Урала (табл. 2) этот компонент избыточен ( $Fe_2O_3$  от 0,11 до 1,44%). Однако в технологической схеме при переработке данных пород можно предусмотреть метод магнитной сепарации, первый опыт которого приведен в табл. 3. Результат

Таблица 4

Химический состав калинагровых полевых шпатов\* из аповулканигов сивягинского типа, Полярный Урал, и из Чулинского месторождения [4]

№№ образцов	Порода, место взятия	Оксиды, вес %													
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	BaO	п.п.л.	Сумма
2177-1	Липарит щелочной, Грубею	64,29	0,03	18,12	1,05	0,01	—	—	—	1,10	14,64	0,62	н.о.	—	99,386
1648-д:		64,06	0,17	17,82	0,92	0,95	0,24	0,58	1,83	11,74			1,32	99,98	
Б	Ортоклазовый аповулканиг (апограхилипарит, Изья-Хой	67,47	0,12	15,41	н.о.	сл.	0,02	0,35	0,30	14,32	0,10	н.о.		98,09	
Б-1	То же	66,74	0,30	17,52	0,56	0,89	0,15	0,35	0,19	10,94		5,31	0,85	98,49	
1643-б	Липарит щелочной, Изья-Хой	65,30	0,05	17,66	0,20	0,01	—	0,02	0,03	2,43	13,08	—	0,67	0,25	99,70
1598-а	Апогрихилипарит, хр.Б.Пайпудынский Чулинское месторождение [4]	68,64	0,06	16,57	нет	0,21	нет	0,10	0,31	3,77	9,64	0,24	н.о.	99,58	
		65,75	—	18,00	0,05	—	—	0,19	2,30	13,60	—	—	0,14	100,64	

\* Требования ГОСТ 7030-54 к качеству полевого шпата: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в % не более 0,2-0,3; K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O в % не менее 11-12; СаО в % не более 1; свободный кварц в % не более 8-10 [4].



Таблица 5

Химический состав раннекаменноугольных порфиров  
Покровского комплекса (Средний Урал)

Оксиды	По [14]										По [13]			
	49	50	51	52*	53	54	55	56	57	58	59	60		
SiO <sub>2</sub>	77,40	77,40	75,70	77,10	76,50	75,19	73,90	75,41	75,51	73,91	76,14	73,33		
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,15	0,10	0,10	0,12	0,20	0,06	0,47	0,16	0,07	0,11	0,08		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,02	11,82	11,54	13,10	11,88	12,54	13,58	14,73	13,47	14,27	12,27	14,47		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0,05	0,40	0,36	0,63	0,38	0,72	1,04	0,37	0,99	0,95		
FeO	1,69	1,09	1,67	0,04	1,01	1,52	0,90	0,23	0,24	0,92	0,17	0,28		
MnO	0,05	0,02	0,01	—	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	0,02	0,08	0,02		
MgO	0,20	0,09	0,61	0,03	0,27	0,36	0,21	0,30	0,27	0,30	0,69	0,10		
CaO	0,55	0,14	0,30	0,30	0,30	0,45	0,82	0,48	0,16	1,02	0,29	0,26		
Na <sub>2</sub> O	1,26	0,31	0,60	1,00	0,68	4,73	3,25	2,02	0,81	3,17	3,56	3,40		
K <sub>2</sub> O	5,59	7,70	8,43	7,20	7,38	2,52	4,09	4,28	7,06	4,25	3,60	4,65		
п.п.п.	0,38	1,04	0,58	0,40	0,94	1,43	2,62	1,81	1,04	0,88	1,17	0,62		
Сумма	99,26	99,76	99,61	99,67	99,47	99,60	99,88	100,50	99,63	99,18	100,20	99,73		
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	6,85	8,01	9,03	8,20	8,06	7,25	7,34	6,30	7,87	7,42	7,16	8,05		
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	4,44	24,84	14,05	7,20	10,85	0,53	1,26	2,12	8,72	1,34	1,01	1,37		

\* Кругами обведены номера анализов пород, наиболее близких по составу к фарфоровым камням.

Таблица 5а

Химический состав раннекаменноугольных порфиров  
Покровского комплекса (Средний Урал)

Оксиды	по [15]										
	66	67	68	69	(70)*	(71)	72	73	(74)	(75)	76
SiO <sub>2</sub>	74,24	74,66	74,20	73,49	73,96	74,64	72,97	75,68	76,64	75,56	75,24
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06	0,07	0,20	0,18	0,17	—	0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,56	13,59	13,43	13,54	14,19	13,93	13,99	11,67	11,29	12,84	11,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	0,44	0,35	0,72	0,24	0,22	1,24	0,30	0,53	1,22	0,78
FeO	0,74	0,99	1,20	0,92	0,72	0,36	0,92	1,33	1,00	0,24	1,33
MnO	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07	0,01	0,02	—	0,05
MgO	0,22	0,16	0,18	0,40	0,30	0,36	0,43	0,26	0,46	0,25	0,48
CaO	0,83	0,67	0,55	1,23	0,69	0,88	1,28	0,37	0,42	—	0,49
Na <sub>2</sub> O	4,00	3,00	3,60	3,72	2,90	2,26	3,42	0,28	1,08	0,20	0,92
K <sub>2</sub> O	3,96	4,40	4,48	3,76	3,95	4,19	4,15	8,32	6,00	8,45	7,31
п.п.п.	1,69	2,23	1,69	1,77	2,00	1,89	1,33	0,87	1,40	0,61	1,23
Сумма	99,68	100,10	99,55	99,45	99,06	99,90	100,00	99,46	99,71	99,37	99,95
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	7,96	7,40	8,08	7,48	6,85	6,45	7,57	8,60	7,08	8,65	8,23
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0,99	1,47	1,24	1,01	1,36	1,85	1,21	29,71	5,56	42,25	7,95

\* Кругами обведены номера анализов пород, наиболее близких по составу к фарфоровым камням.

Таблица 6

Химический состав калиевых кислых вулканитов и обломочных пород  
(выборка химанализов из среднерифейской вулканогенно-осадочной  
формации Башкирского антиклинария) (по [26]\*)

Породы	Липариты машакской свиты				Терригенные породы машакской свиты				Измененные вулканиты шатакской свиты				Терригенные породы шатакской свиты		
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89		
Окислы															
SiO <sub>2</sub>	72,82	73,59	68,83	79,26	76,18	70,10	71,45	75,85	73,23	70,47	72,55	69,99	69,25		
TiO <sub>2</sub>	0,59	0,44	0,68	0,62	0,41	0,70	0,52	0,52	0,61	0,52	0,49	0,64	0,97		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,82	13,70	17,88	11,33	11,19	17,50	13,10	13,96	11,81	17,51	16,43	15,43	19,03		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,29	2,06	3,83	2,05	3,06	0,75	2,24	2,39	3,64	1,34	1,03	3,28	1,67		
FeO	1,05	2,48	0,74	0,37	1,50	3,13	2,85	1,26	1,46	0,37	0,37	0,37	1,10		
MnO	0,01	0,01	0,03	0,03	0,05	0,02	0,08	—	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01		
MgO	1,82	1,03	0,70	1,45	2,10	1,90	0,58	1,23	1,13	2,17	2,04	1,12	1,55		
CaO	0,92	0,22	0,29	0,57	0,50	0,10	3,60	0,12	0,57	0,10	0,57	0,43	0,54		
Na <sub>2</sub> O	1,30	0,10	0,78	0,07	0,11	0,15	0,38	0,10	0,20	0,16	0,14	0,16	0,12		
K <sub>2</sub> O	4,38	5,29	6,18	4,15	3,69	5,55	5,04	4,44	7,06	6,42	6,36	4,92	5,61		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,09	0,06	0,08	0,12	0,10	0,16	0,13	0,13	0,01	0,01	0,08	0,15		
п.п.п.	—	—	—	—	—	—	—	—	0,10	2,23	2,69	2,18	2,29		
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	5,68	5,39	6,96	4,22	3,80	5,70	5,20	4,54	7,26	6,58	6,50	5,08	5,73		
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	3,31	52,9	7,92	59,3	33,54	57,0	13,26	44,4	35,3	40,1	45,4	30,75	46,75		

\* Анализы 77–85 приведены к 100%.

Таблица 7

Химические составы кислых вулканитов и аповулканитов  
из некоторых районов Южного и Среднего Урала

$\begin{matrix} \text{№ п/п} \\ \text{Окислы} \end{matrix}$	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
SiO <sub>2</sub>	73,68	73,00	70,83	73,27	57,88	33,52	48,66	64,89	69,80	65,02	71,56	74,36
TiO <sub>2</sub>	0,28	0,38	0,36	0,37	0,42	1,58	1,95	0,37	0,47	0,15	0,14	0,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,80	12,40	14,86	11,79	29,08	51,81	34,49	17,39	11,44	15,85	11,59	10,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,34	2,99	1,51	2,31	0,36	—	—	0,37	4,16	0,45	0,48	1,38
FeO	2,02	1,39	0,88	1,26	0,28	0,60	0,72	1,95	1,53	2,59	3,71	3,68
MnO	0,05	0,15	0,02	0,02	—	—	0,01	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03
MgO	1,02	0,41	0,39	0,36	0,32	0,04	—	1,14	0,45	0,10	0,05	0,06
CaO	1,87	0,83	0,51	0,38	0,28	—	0,05	2,05	0,62	0,30	0,30	0,30
Na <sub>2</sub> O	3,97	5,33	5,28	1,78	0,12	0,08	0,37	2,60	1,37	0,68	0,77	2,03
K <sub>2</sub> O	7,15	2,60	3,39	6,52	0,44	1,48	8,07	9,23	6,99	14,47	10,52	7,31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,18	0,05	—	—	—	—	—	0,05	0,05	0,05	0,05
CO <sub>2</sub>	—	0,11	0,05	—	—	0,40	—	—	—	0,10	0,10	0,10
п.п.п.	—	—	—	—	10,55	1,89	4,66	—	—	0,48	0,10	0,10
Сумма	104,18	99,77	98,04	98,06	99,68	99,40	98,98	100,00	100,10	100,53	999,15	100,44
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	11,12	7,83	8,67	8,3	0,56	1,56	8,44	11,83	8,36	15,15	11,29	9,33
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1,80	0,48	0,64	3,66	3,67	18,5	21,8	3,55	5,10	21,27	13,66	3,60

К табл. 7.

- 90–93 – средние химические составы кислых, кали-натровых вулканитов Магнитогорского синклинория.
- 90 – липариты улугауской средне-верхнедевонской базальт-андезит-дацит-липаритовой формации (среднее же 11 ан.) из Учалинской зоны [33].
- 91 – липариты нижнекаменноугольной базальт-липаритовой березовской формации (среднее из 19 ан.) [33].
- 92 – трахилипариты нижнекаменноугольной базальт-трахиандезит-трахилипаритовой кизильской формации [33] (среднее из 5 ан.).
- 93 – субвулканические кислые породы щелочной кали-натровой серии, предположительно поздне-карбонovo-пермского возраста (среднее из 15 ан.) [34].
- 94–96 – высокоглиноземистые вулканиты, подвергшиеся изменениям в результате поствулканической деятельности (центральная часть Магнитогорского синклинория [6]).
- 94 – аповулканиты г. Соколок; 95–96 – светлые аповулканиты с шаровидными образованиями из р-на дер. Мартыновки; 95 – шарик, 96 – основная масса.
- 97–98 – вулканиты из билимбаевского комплекса [36].
- 97 – туф трахидацига.
- 98 – трахирриодацит. 99–101 – кислые эффузивы из района г. Нязепетровска, р. Куказар (данные С.Г. Червяковского).

Таблица 8

Химические составы кислых венд-раннепалеозойских кали-натровых  
и калиевых вулканитов и аповулканитов из некоторых районов севера Урала

№, № п/п Окислы	(102)	(103)*	104	105	106	107	(108)	109	110	111	(112)	113	(114)
SiO <sub>2</sub>	78,58	76,34	66,61	66,28	67,89	66,82	72,06	84,24	80,00	77,10	77,96	77,50	74,04
TiO <sub>2</sub>	0,25	0,25	0,20	0,18	0,19	0,18	0,10	0,06	0,20	0,13	0,12	0,13	0,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,22	12,79	13,88	13,42	15,67	16,06	14,29	7,85	10,88	11,63	11,57	10,85	13,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,09	4,33	4,40	0,10	—	0,78	0,73	0,80	0,65	0,55	1,47	0,67
FeO	0,71	0,28	1,36	1,07	1,37	1,44	0,28	0,33	0,71	0,77	0,54	0,51	0,61
MnO	0,02	—	0,02	0,04	0,03	—	0,04	0,02	—	0,02	0,02	0,02	0,02
MgO	0,76	0,29	0,06	—	0,06	—	0,15	0,13	0,39	0,40	0,12	0,17	0,21
CaO	0,07	0,14	0,15	0,41	0,20	—	0,30	0,30	0,14	0,30	0,30	0,30	0,34
Na <sub>2</sub> O	0,46	0,46	0,30	0,31	0,33	0,31	2,63	2,40	1,05	2,32	0,12	0,14	0,16
K <sub>2</sub> O	6,94	8,99	12,05	14,65	12,97	14,41	8,83	3,30	3,69	5,57	7,52	7,47	7,85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	0,01	0,05	—	—	—	—	—	1,57	—	0,05	—	0,09
CO <sub>2</sub>	—	—	0,10	—	—	—	—	—	—	0,10	—	—	—
п.п.п.	0,79	0,69	0,39	—	—	—	0,25	0,17	—	0,78	0,51	0,93	1,24
Сумма	99,88	100,33	99,50	100,76	98,81	99,22	100,61	99,53	99,43	99,77	99,38	99,47	101,17
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	7,40	9,45	12,35	14,96	13,30	14,72	11,46	5,70	4,74	7,89	7,64	7,61	8,01
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	15,10	19,50	40,20	47,30	39,30	46,50	3,35	1,37	3,50	2,40	62,60	74,10	49,10

\* Кругами обведены номера анализов пород, состав которых наиболее близок к составу фарфорового камня.

К табл. 8.

- 102, 103 – кварцевые порфиры субвулканической интрузии хр. Мартай, Северный Урал [22].  
104 – 107 – кислые вулканы из верховьев р. Бадья-ю, субвулканические тела в зоне западного контакта Лемвинского гранитного массива Полярного Урала [34].  
106, 107 – измененные (осветленные, мясо-красные) разновидности.  
108–110 – измененные кислые вулканы из р-на г. Борзовой [34].  
108, 109 – мареканит (108 – основная масса, 109 – шар-сферолит); 110 – серицит-кварц-полевошпатовый метасоматит.  
111–114 – р. Себета-Яха, участок Предгорное, в 4 км к ю-в от г. Константинов Камень (Полярный Урал) (данные С.Г. Червяковского).

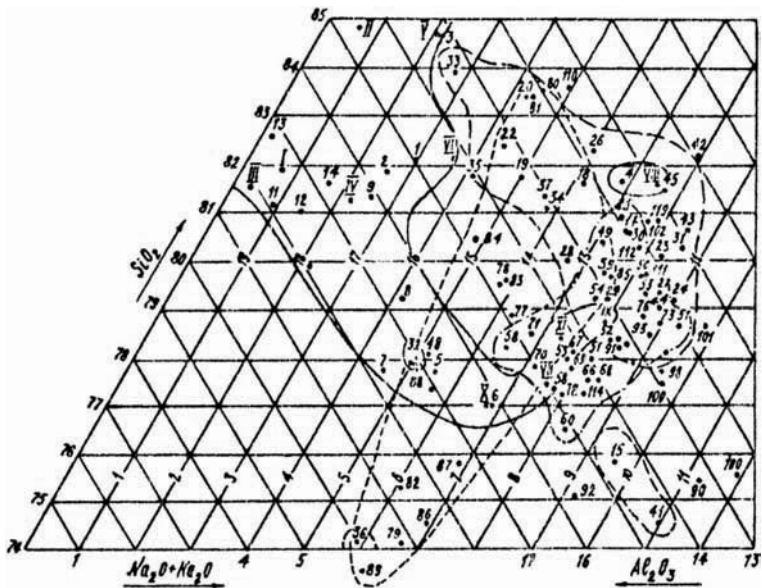


Рис. 4. Поля распространения химических составов в тройной системе  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ :

- № 1–14, I–XI – фарфоровых камней известных месторождений мира и СССР (из табл. 1 и [5]).
- № 15–31, 32–38, 41–46 (из табл. 2, 3) – фарфоровых аповулканитов Приполярного Урала;
- № 49–60, 66–76 (табл. 5) – ультракалиевых липаритовых порфиров Среднего Урала (покровский комплекс);
- № 77–89 (табл. 6) – липаритов и осадочных пород машакской и шатакской свит Башкирского антиклинория.



получился неоднозначным, однако в 4-х из 6 случаев содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  удалось уменьшить по сравнению с исходным, иногда даже в 1,5–2 раза, доводя его до приемлемых содержаний.

Главный же вывод из табл. 3 заключается в том, что магнитная сепарация позволит в известных пределах манипулировать химическим составом измельченных фарфоровых камней, подбирая соответствующий режим.

Большие запасы (по предварительной оценке, 80 млн.  $\text{м}^3$  в пределах капканвожского участка, до 1000 млн.  $\text{м}^3$  – в районе Пайпудынского липаритового массива и 3 млн.  $\text{м}^3$  – в пределах экструзии в истоках р. Сивяги), поверхностное залегание (возможна разработка открытым способом) и близость к железной дороге повышают экономическую целесообразность эксплуатации данного вида минерального сырья.

#### 4. Технологическое изучение фарфоровых камней севера Урала для получения керамики

Нами впервые было предпринято технологическое изучение фарфоровых камней севера Урала с целью проверки их пригодности для получения керамики, определения оптимальных режимов обработки сырья и оценки качества продукции. В данном разделе приводятся результаты этих исследований. Получение керамики осуществлялось без искусственного, целенаправленного изменения состава исходной керамической массы.

Одним из основных направлений в технологии изготовления различных видов керамики является процесс получения ее по обжиговой технологии с использованием природных минералов в качестве исходного сырья. Главным преимуществом такого метода являются относительно невысокая стоимость сырья, использование при обжиге простого технологического оборудования. Поскольку разведанные запасы рассматриваемого типа минерального сырья в целом в СССР невелики, уже сейчас необходимо разрабатывать новые модификации керамических масс, позволяющих получать высококачественную керамику при относительно большом содержаний различных примесей на основе новых минеральных месторождений.

Повышение качества керамики можно достигать двумя путями: улучшением и совершенствованием технологического процес-

сы обжига, в соответствии с составом сырья» а также введением в состав керамической массы дополнительных компонентов. Решение этих задач требует изучения структуры и состава как кристаллической, так и аморфной фазы керамики с применением различных физико-химических методов в условиях исследовательской лаборатории, на основе экспериментального поиска новых составов, позволяющих получать стабильные результаты, по новым высококачественным сортам керамики. Ориентиром при этом служат типовые составы применяемых в народном хозяйстве разновидностей керамики. Особого внимания заслуживает такая разновидность как установочная керамика. В связи со значительным развитием линий электропередач возникает необходимость создания высоковольтных керамических материалов, устойчивых к процессам старения при длительном воздействии высокого напряжения. Кроме установочной керамики большой спрос существует на конденсаторную, вакуумную и термостойкую керамику. Во многих случаях подходящими материалами являются фарфоровые керамические массы – изоляционный фарфор, радиофарфор и ультрафарфор.

Электротехнический фарфор широко распространен как керамический материал для изготовления изоляторов в высоковольтной технике и в низкочастотных цепях радиоэлектронной аппаратуры. Основным преимуществом этого материала перед другими видами керамики является высокая эластичность материала и невысокие температуры обжига. Типовой состав электротехнического фарфора может быть определен следующим образом:

Глина белая (каолин) –	25 масс. %
Глина пластичная	– 15 –"
Полевой шпат	– 40 –"
Кварцевый песок	– 17 –"
Череп фарфоровый	– 3 –"

Радиофарфор – материал из групп керамических фарфоровых масс, в составе которого содержится углекислый барий и отсутствует полевой шпат. Такой материал характеризуется очень высокими диэлектрическими свойствами и может быть использован при высоких частотах переменного тока. Основные компоненты керамической массы остаются те же, только полевой шпат заменяется на карбонат бария.

Ультрафарфор также характеризуется высоким содержанием

карбоната бария, уменьшением содержания глин с заменой их на глинозем. Типовой состав шихты для получения ультрафарфора следующий:

Каолин и пластичная глина – 40 масс. %  
 Глинозем – 25 – " –  
 Карбонат бария – 35 – " –

Высокие диэлектрические свойства ультрафарфора позволяют использовать его как высокочастотную электроизоляционную керамику в широком диапазоне частот, вплоть до СВЧ.

Самой распространенной маркой фарфора является технический фарфор; типовой химический состав шихты для производства такой керамики дается в табл. 9.

Таблица 9

Типовой химический состав  
 технического фарфора (вес. %)

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	п.п.п.
Полевой шпат	65	20	0,05	0,2	0,07	12,74	1,5	0,2
Каолин	45	38	0,56	1,0	0,5	0,3	0,4	13
Глина	53	32	0,8	0,5	0,4	2,5	0,5	9
Кварцевый песок	99,5	0,03	0,02	–	0,01	–	–	0,05
Оксид	0,1	98,5	0,1	0,4	0,3	–	0,5	0,3

Учитывая соотношение этих компонентов в различных марках фарфора, можно вывести усредненный химический состав фарфоровой керамики, который будет отвечать следующему содержанию основных элементов, в пересчете на оксиды, в весовых процентах, представленному в табл. 10.

Таблица 10

Средний химический состав фарфоровой керамики (%%)

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
%	62	22	1	0,5	0,2	5,5	0,5

Исходя из полученных величин, можно оценить качество нового минерального сырья – фарфоровых аповулканитов севера Урала, полный силикатный анализ которых приведен в табл. 2, 3.

Сопоставляя значения по основным компонентам, приведенным в таблицах 2, 3 и 6, можно сделать предварительную оценку нового сырья по количественному и качественному составу. Во-первых, бросается в глаза повышенное содержание  $\text{SiO}_2$  в изучаемых образцах, а также значительное расхождение по содержанию железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ) и заниженное содержание глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Однако общее содержание основных компонентов в целом отвечает требуемому составу и, что самое главное, отвечает необходимому набору основных компонентов.

Поскольку изучаемые фарфоровые аповулканиды являются комплексным сырьем и содержат в основном все компоненты, требуемые для получения керамической массы, это представляется их несомненным достоинством, так как в технологическом процессе получения фарфоровых керамических масс, как правило, используется сырье различных месторождений, и основные компоненты: каолин, пластичная глина, песок кварцевый – берутся для помола отдельно. Следовательно, недостающие по составу компоненты могут быть введены в состав шихты при помолу. В данном случае – это каолин, чтобы повысить содержание глинозема в керамике. Кстати, есть определенные предпосылки для обнаружения и этого вида минерального сырья на севере Урала [16]. Содержание железа в фарфоровых аповулканидах может быть значительно снижено при магнитной сепарации приготовленной шихты, которая является необходимой операцией технологического процесса. Как правило, магнитная сепарация шихты вдвое снижает содержание оксидов железа в получаемых керамических массах. Добавка глинистых материалов (каолин, пластичная глина) также является необходимой для увеличения количества возможных способов формирования изделий из керамической массы. Следовательно, можно сделать заключение о пригодности фарфоровых аповулканидов севера Урала к использованию их в качестве основного комплексного компонента для приготовления керамических фарфоровых масс.

В нашей стране накоплен определенный опыт использования месторождений фарфоровых камней. Как уже отмечалось, примером может служить разрабатываемое в широких масштабах Гусевское месторождение на Дальнем Востоке. Состав фарфоровых камней этого месторождения приводится в табл. 1. Сопоставляя химический

состав фарфоровых камней Гусевского месторождения с составом фарфоровых аповулканитов капканвожского типа севера Урала, можно заметить близость этих составов, хотя североуральские породы отличаются заниженным содержанием глинозема, повышенным содержанием соединений железа. Как отмечалось ранее, это различие может быть устранено в процессе приготовления керамической шихты, путем целенаправленных добавок. Камни Гусевского месторождения имеют различную окраску от белого, через серые цвета, до черного. В процессе обжига при температурах 1350°C камни приобретают снежно-белый цвет [19]. Керамические массы, получаемые из этих камней, идут на получение высококачественного фарфора и термостойкого бесцветного стекла.

Результаты химического анализа фарфоровых аповулканитов севера Урала (табл. 2), а также результаты проведенных огневых проб с образцами минерального сырья (табл. 11) позволили нам сделать заключение о пригодности нового сырья для получения керамических масс и провести лабораторные испытания по получению образцов керамики и изучению некоторых ее характеристик.

Для получения образцов керамики использовались фарфоровые аповулканиты месторождения района г. Манараги, отобранные в различных его точках, отличающиеся по содержанию примесей, качественно и количественно, и которым были присвоены номера 1450-а; 1450-б и 1387 (капканвожский тип), а также пробы 3000, 3000-а и 3000-б (сивягинский тип), взятые у истоков р. Сивяги.

#### Условия и результаты технологических испытаний

Помол камней осуществлялся в шаровых мельницах из ультрафарфора до прохождения через сито 0,0063 м. Формирование заготовок, отпрессовка стандартных дисков (0,03 м,  $h = 0,003$  м) для обжиговых испытаний были выполнены на базе Ухтинского завода "Прогресс". Технология и длительность обжига заготовок определялись опытным путем на основе анализа литературы по приготовлению фарфоровой керамики из сырья различных месторождений СССР [ 1, 2, 3, 28, 29, 37].

На полученных образцах керамики изучались основные характеристики керамических изделий с целью дать ответ на вопрос о возможных областях применения керамики.

Обжиг изделий. Образцы керамики из шихты, приготовленной на основе фарфоровых камней с севера Урала, получали для каждой партии по обычной обжиговой технологии, Выбор оптимальной температуры обжига основывался на результатах огневых проб (табл. 11).

Таблица 11

Результаты огневых проб  
фарфоровых аповулканитов севера Урала

Образец	T плавления, °С	Характеристика продукта
1450-А	1250	белый оплавившийся спек с рыжеватыми вкраплениями
1450-Б	1250	серый оплавившийся спек с рыжими прожилками
1387	1180	коричневого цвета расплав
1450-АБ	1250	белый с желтоватой окраской спек
3000-А	1350	белоснежный оплавившийся спек

Обжиг изделий проводился в температурном интервале 1140–1240 °С. Экспериментальные образцы керамики представляли собой диски 35 мм диаметром и 2–3 мм высотой. Обжиг проводили в печи с корборундовыми нагревателями на цирконовой подложке, в качестве подсыпки использовали прокаленный при 1500 °С оксид алюминия. Скорость повышения температуры составляла 200 °С/час; точность регулировки температуры равна – 5 °С. Образцы обжигались при различных температурах с целью установления по изменению структурных характеристик керамики интервала спекания керамической массы, приготовленной из различных образцов камней. Общее время обжига колебалось от 8 до 12 часов в зависимости от конечной температуры обжига. Охлаждение образцов проводилось вместе с печью со скоростью 200 °С/час.

**П о р и с т о с т ь , в о д о п о г л о щ е н и е .** Предварительное определение качества полученной керамики проводилось по результатам прокрашивания дисков раствором фуксина (табл. 12). Окрашивание дисков происходит вследствие высокой пористости керамики, больших размеров пор, что вызывается либо недожогом, либо пережогом керамики. Малопористая, плотная керамика получается в том случае, если ведется обжиг в интер-

Таблица 12

Результаты прокрашивания дисков раствором фуксина

Т обжига, °С	Образец минерала			
	1450-АБ	1450-А	1450-Б	1387
1240	окрашен	не окрашен	сильно окрашен	–
1220	не окрашен	окрашен	окрашен	–
1200	не окрашен	окрашен	слабо окрашен	–
1180	не окрашен	сильно окрашен	не окрашен	–
1160	не окрашен	окрашен	окрашен	не окрашен
1140	окрашен	–	–	–"–

вале температур спекания керамической массы. Вторым параметром, позволяющим судить о качестве полученных образцов керамики, является величина водопоглощения керамики. Результаты по определению водопоглощения различными образцами керамики, полученной в лабораторных условиях, приведены в табл. 13.

Таблица 13

Результаты определения водопоглощения

Образец	Т обжи- га, °С	Водопогло- щение, масс. %	Образец	Т обжи- га, °С	Водопоглощение, масс. %
1450-АБ	1240	0,10	1450-А	1200	2,0
1450-АБ	1220	0,10	1450-А	1180	2,0
1450-АБ	1200	0,10	1450-Б	1240	0,10
1450-АБ	1180	0,10	1450-Б	1220	0,10
1450-АБ	1140	2,0	1450-Б	1200	0,110
1450-А	1240	0,10	1450-Б	1180	0,10
1450-А	1220	0,10	1387	1140	0,10

Можно сказать, что образцы керамики из различных партий образцов дают хороший результат по величине водопоглощения. Величины водопоглощения, полученные нами, вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к фарфоровой керамике. Так, в работе А.М. Ремпеля и др. [28] приводятся цифры по водопоглощению: качественный фарфор – в пределах 0,2–0,5%, полуфарфор – не более 5%, фаянс – не более 10–12%, что значительно превышает

полученные нами значения. Температуры обжига для таких керамических масс лежат в интервале 1300–1150 °С, что находится в хорошем соответствии с температурами спекания керамической шихты, приготовленной из изучаемых фарфоровых камер.

Рентгеноструктурный анализ изучаемых образцов проведен на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.0 в режиме Fe – анод без фильтра, U = 40 Кв, I = 6 а, V счетчика – 2 град./мин, предел измерений 1000 млн. сек, пост. врем. 2 сек, усиление 128, V диаграммы = 720 мм/час. Согласно табл. 14 после нагревания часть линий на дифрактограмме исчезает. Большинство отсутствующих линий, особенно интенсивных с большими  $\alpha$ , характерны для серицита (S). Из этого можно сделать вывод, что серицитовая составляющая значительно варьирует.

Таблица 14  
Рентгеноструктурные данные исходного вещества (ОСН) и керамики, полученной при разных температурах обжига

№№ п/п	$\alpha$	ОСН	1180	1200	1220	Фазовый состав
1.	10.81	7	–	–	–	–
2.	9.80	30	–	–	–	S–
3.	5.44	3	5	3	10	–
4.	4.95	17	–	–	–	S–
5.	4.66	5	6	5	5	Q
6.	4.23	32	20	22	25	Q
7.	3.66	32	25	24	22	Q
8.	3.48	3	–	–	–	S–
9.	3.32	100	100	100	100	QS
10.	3.17	5	–	–	–	–
11.	2.98	6	–	–	–	S–
12.	2.84	4	3	3	4	S+
13.	2.81	2	–	–	–	–
14.	2.70	2	3	3	5	Q
15.	2.55	3	5	–	6	S+
16.	2.49	3	–	–	–	QS–
17.	2.45	9	6	5	7	QS+
18.	2.34	2	–	–	–	QS–



19.	2.28	7	5	5	6	Q <sup>*)</sup>
20.	2.23	5	3	3	3	QS+
21.	2.19	3	5	5	10	QS+
22.	2.12	7	5	5	7	QS+
23.	1.99	19	3	3	2	QS+
24.	1.81	11	10	10	8	Q
25.	1.70	2	—	—	—	Q
26.	1.67	4	3	3	3	Q
27.	1.66	3	—	—	—	QS—
28.	1.64	2	—	—	—	QS—
29.	1.54	10	5	4	4	QS+
30.	1.52	3	3	4	4	QS+
31.	1.51	2	—	—	—	QS—
32.	1.45	2	—	—	—	Q
33.	1.38	5	7	6	5	Q
34.	1.37	9	—	—	—	Q

Диэлектрические свойства полученной фарфоровой керамики можно оценить по величине тангенса диэлектрических потерь и другим электрофизическим характеристикам. Те керамические массы, изделия из которых имеют величины  $\operatorname{tg} \delta$  порядка  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  единиц, могут быть рекомендованы для использования в качестве специальной технической керамики [28]. Для электротехнического фарфора требования по величине  $\operatorname{tg} \delta$  находятся в пределах  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  единиц [3]. Определение величины тангенса диэлектрических потерь проводилось на частоте 1 КГц при комнатной температуре. Абсолютные значения величин  $\operatorname{tg} \delta$  для керамики различного состава, обожженной при различных температурах, приведены в табл. 15, а характер наблюдаемой зависимости величины  $\operatorname{tg} \delta$  от температуры обжига проиллюстрирован на рис. 5.

Из представленных в табл. 15 результатов измерения тангенса диэлектрических потерь видно, что значения этой величины измеряются в широких пределах  $4 \cdot 10^{-2}$ – $4 \cdot 10^{-1}$  единиц, причем для образцов 1450-А и 1450-Б наблюдается сильная зависимость от температуры обжига, в то время как керамика на основе смеси этих образцов такой зависимости не проявляет.

<sup>\*)</sup> Q – кварц  
S – серицит

Интересным фактом является то, что образец 1387, характеризующийся самым большим содержанием окислов железа, обладает высокими диэлектрическими свойствами. В последнем случае значительное снижение  $\operatorname{tg} \delta$  связано с более высоким содержанием  $\text{K}_2\text{O}$ .

Таблица 15

Результаты измерений тангенса диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg} \delta, 10^{-2}$ )

Т обжига °С	1450-А	1450-Б	1450-АБ	1387	3000-А
1240	2,0	20	1,0	—	
1220	3,0	23	1,0	—	
1200	32	29	1,0	—	
1180	40	42	3,5	—	
1160	40	34	1,2	1,5	1,8
1140			2,2	0,4	

Величина диэлектрической прочности ( $E$  пг кВ/мм) в изучаемых образцах изменяется от 29,3 (обр. 1450-АБ) до 33,3 (обр. 1387), что соответствует электрокерамике (ГОСТ 5458-75).

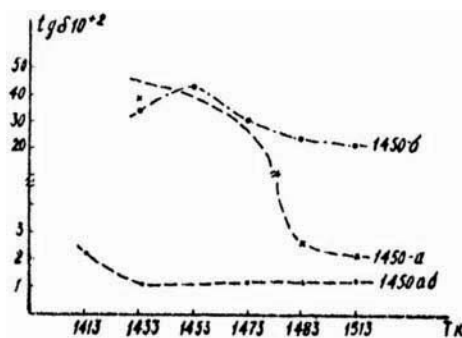


Рис. 5. Зависимость диэлектрических свойств керамики от температуры обжига для шихт различного состава

Петрографическая характеристика. Качество керамики, полученной на основе образцов 1450-А, 1450-Б, 1387 и 3000А, исследовалось методами петрографии с целью установления общей пористости керамики, определения усредненного размера пор и кристаллов в зависимости от состава керамической массы и температуры обжига ее. В табл. 16 представлены развернутые результаты петрографических исследований, а графическое выражение полученных зависимостей представлено на рис. 6, 7, 8.

Таблица 16  
Петрографическая характеристика образцов керамики, полученных из фарфоровых камней севера Урала

№ образца	Т обжига, °С	Структура и размер кристаллов в мкм	Оценка пористости (%) и размеры пор в мкм
1	2	3	4
1450-А	1240	Кристаллизация однородная по величине кристаллов. Стеклофаза белая, распределена равномерно, Размеры кристаллов 3–6–12	Пористость однородная по величине пор. Размеры пор 4–6–12 мкм отд. до 30. Общая пористость 13%
1450-А	1220	Кристаллизация неоднородная по величине кристаллов. Стеклофаза белая, мало, распределена неравномерно. Размеры кристаллов 8–12–18	Пористость неоднородная по величине пор. Поры распределены неравномерно. Размеры пор 2–3–6 до 12. Общая пористость 16%
1450-А	1180	Кристаллизация однородная по величине кристаллов. Стеклофазы мало, распределена равномерно. Размеры кристаллов 6–8–12	Пористость однородная. Пор много, неправильной формы. Распределены равномерно. Размеры пор 3–6–7, отдельные до 24. Общая пористость 50%

1	2	3	4
1450-А	1160	Кристаллизация однородная по величине кристаллов. Стеклофазы мало, распределена равномерно. Размеры кристаллов 6–14–18	Пористость неоднородная. Поры распределены неравномерно. Размеры пор 2–6 до 24. Общая пористость 36%
1450-Б	1140	Кристаллизация неоднородная, стеклофазы мало, распределена равномерно. Размеры кристаллов 3–5–6 до 14	Пористость однородная, поры распределены равномерно. Размеры пор 6–12–24. Общая пористость 36%
1450-Б	1220	Кристаллизация неоднородная, стеклофаза распределена неравномерно, мало. Размеры кристаллов 3–6, 15–20	Пористость неоднородная, поры распределены неравномерно. Размеры пор 5–7–12. Общая пористость 16%
1450-Б	1200	Кристаллизация однородная. Стеклофаза белая, много, распределена равномерно. Размеры кристаллов 4–7–10	Пористость неоднородная. Поры распределены неравномерно. Размеры и форма пор разные. Размеры пор 2–6–18. Общая пористость 21%
1450-Б	1180	Кристаллизация неоднородная. Стеклофазы много, распределена неравномерно. Размеры кристаллов 6–12 до 90	Пористость неоднородная. Поры распределены неравномерно, форма неправильная. Размеры пор 2–3–5 до 24. Общая пористость 16%
1450-Б	1160	Кристаллизация однородная. Стеклофаза в норме, распределена равномерно. Размеры кристаллов 3–6–8	Пористость неоднородная. Поры мелкие, много, неправильной формы, распределены неравномерно. Размеры пор 1–2–3 до 12. Общая пористость 17%

1	2	3	4
1450-АБ	1240	Кристаллизация неоднородная. Стеклофазы много. Двух видов: темная и светлая, распределена неравномерно, Размеры кристаллитов не определяются	Пористость неоднородная. Поры распределены неравномерно по размерам. Размеры пор 3–5–15 до 25. Общая пористость 9%
1450-АБ	1220	Кристаллизация неоднородная. Стеклофазы мало, распределена неравномерно. Размеры кристаллов 5–8–11	Пористость неоднородная. Поры по размерам различны. Размеры пор 2–4–6; 12–18. Общая пористость 13%
1450-АБ	1200	Кристаллизация однородная. Стеклофазы мало, распределена равномерно. Размеры кристаллов 3–6–8	Пористость однородная. Пор мало, размеры близки, распределены равномерно. Размеры пор 1–2 до 6. Общая пористость 4%
1450-АБ	1180	Кристаллизация близка к однородной, Стеклофаза белая, содержание в норме. Распределена равномерно. Размеры кристаллов 2–5–8	Пористость однородная. Поры распределены равномерно. Размеры пор 3–3 до 20. Общая пористость 15%
1450-АБ	1160	Кристаллизация однородная. Стеклофаза распределена равномерно, мало. Размеры кристаллов 3–5–6	Пористость неоднородная. Поры распределены неравномерно. Размеры пор 1–2–3–7. Общая пористость 20%
1450-АБ	1140	Кристаллизация неоднородная. Стеклофазы мало, распределена неравномерно. Размеры кристаллов 9–14–18.	Пористость неоднородная. Поры распределены неравномерно. Размеры пор 1–2–7 до 12. Общая пористость 38%
1387	1160	Кристаллизация однородная. Стеклофаза желтая, распределена равномерно,	Пористость неоднородная. Поры крупные и мелкие, распределены

1	2	3	4
		в норме. Размеры кристаллов 3–6–12	равномерно. Размеры пор 1–6; 2 4–36. Общая пористость 50%
1387	1140	Кристаллизация однородная. Стеклофазы много, белая, распределенная равномерно. Размеры кристаллов 2–5–7	Пористость неоднородная, поры мелкие, округлые, распределены неравномерно. Размеры пор 2–5–14. Общая пористость 9%

Анализируя представленные результаты, можно сделать заключение, что наименее пористой, а следовательно, наиболее плотно спеченной керамикой, с наименьшими размерами пор и кристаллов во внутренней структуре керамического черепа является керамика, полученная из смеси проб 1450-А и 1450-Б, а также керамика на основе пород сивягинского типа.

Рассматривая полученные в лабораторных условиях результаты по изучению спекаемости керамических масс, приготовленных из фарфоровых аповулканитов севера Урала, и некоторые физико-химические свойства образцов керамики, можно сделать следующие выводы.

По своему химическому составу фарфоровые аповулканиты капканвожского типа близки камням Гусевского месторождения, нашедшим уже широкое применение для изготовления технического, специального и художественного фарфора. Недостатком изучаемых в работе проб аповулканитов является повышенное содержание железа, что снижает белизну керамики, придавая ей желтоватый оттенок на изломе. По требованиям ГОСТа 861-55 цвет фарфоровой керамики, используемой для технической фарфоровой аппаратуры, лимитируется от белого до желто-серого оттенка и, таким образом, полученная в ходе исследований керамика отвечает требованиям ГОСТа по цветности.

Повышенное содержание железа также нежелательно с точки зрения диэлектрических свойств керамики, однако полученные нами характеристики по величине тангенса диэлектрических потерь позволяют утверждать, что даже без модификации состава керамической массы, приготовленной из природных аповулканитов се-

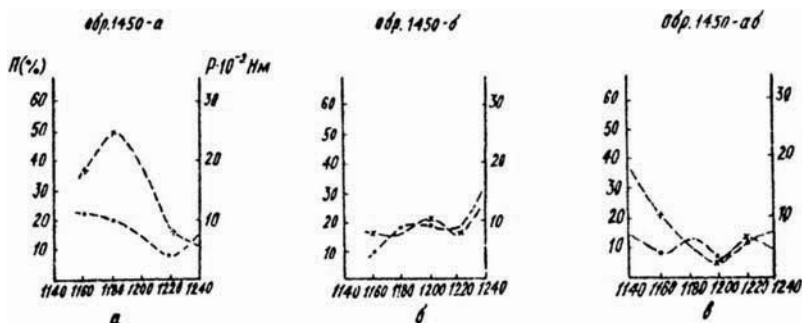


Рис. 6. Зависимость общей пористости П (%) и среднего размера пор (P) от температуры обжига.

× – пористость; ● – размер пор

вера Урала, изделия из нее вполне отвечают требованиям, предъявляемым к электротехническому фарфору. В перспективе, при введении в керамическую массу пластичной глины при изготовлении изделий, качество получаемой керамики может быть улучшено, так как возрастет общее содержание соединений алюминия в шихте. Опираясь на результаты специальных исследований [2], в настоящее время даже при получении радиокерамики используют тальки с содержанием соединений железа (в пересчете на  $Fe_2O_3$ ) до 3,5 вес. %. Следовательно, повышенное содержание соединений железа в рекомендуемом сырье, которое значительно снижается в процессе магнитной сепарации керамической шихты, не может быть серьезным препятствием на пути его широкого промышленного использования при производстве хозяйственного и электротехнического фарфора.

Керамические массы, полученные из фарфоровых аповулкани-тов севера Урала, обладают сравнительно невысокими температурами спекания, при этом получается керамика, имеющая показатель водопоглощения, характерный для фарфоровой керамики. Величина водопоглощения зависит от температуры обжига изделий, а минимальная температура обжига определяется составом керамической шихты.

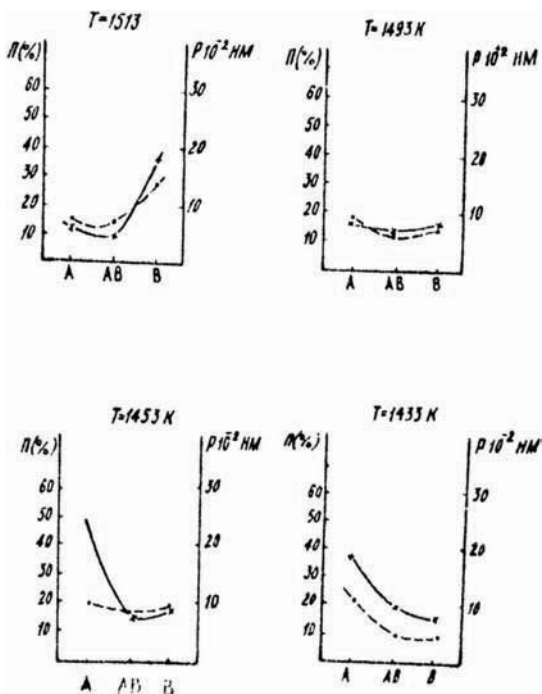


Рис. 7. Зависимость пористости и размера пор от состава шихты при различных температурах обжига

Анализируя результаты, приведенные в табл. 16, и зависимости структурных характеристик керамики, представленных на рис. 6, 7, 8, можно определить оптимальные температуры обжига изделий их шихт разного состава и температурный интервал спекания массы, в котором получается керамика наилучшего качества.

Оптимальной температурой обжига для массы на основе пробы 1450-А является температура 1240 °С, а температурный интервал спекания находится в области 1220–1250 °С. Для изделий из массы на основе пробы 1450-Б оптимальной температурой обжига является 1200 °С, а интервал спекания лежит в области 1180–



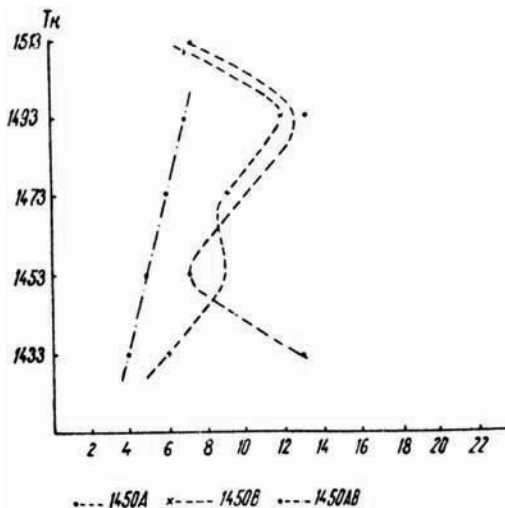


Рис. 8. Зависимость усредненного размера керамического зерна от температуры и состава шихты

1220 °С, эти же температуры являются оптимальными для обжига керамической массы из смеси (50 масс. % А + 50 масс. % Б). Наилучшими структурными и диэлектрическими характеристиками обладает керамика, полученная при обжиге шихты из смеси фарфоровых аповулканитов партий 1450-А и 1450-Б в соответствии 50 масс. % по каждому компоненту.

Керамика, полученная из пробы аповулканитов 1387, хорошо спекается при температуре 1140 °С. Керамика, полученная при этой температуре, имеет высокие диэлектрические свойства и неплохие структурные характеристики, хотя имеет темно-коричневый цвет на поверхности и в изломе. Керамика калишпатовых аповулканитов сивягинского типа обладает наилучшими физическими свойствами при температуре 1160 °С.

Итак, результаты лабораторных испытаний позволяют сделать вывод о том, что качество сырья, выявленного на севере Урала, в целом отвечает требованиям промышленности.

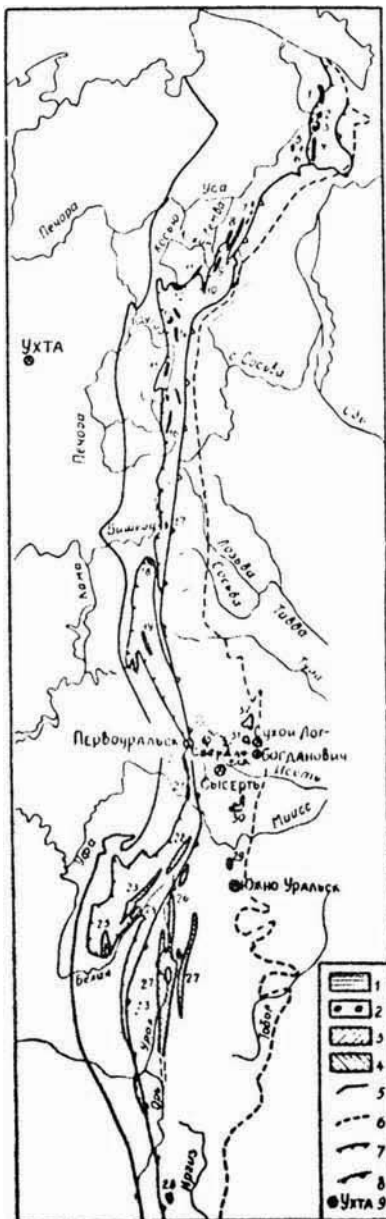


Рис. 9. Схема расположения площадей, перспективных на поиски щелочных калиевой и калий-натровой разновидностей фарфорового камня в пределах Уральской провинции:

1 – машакская контрастная субщелочная базальт-липаритовая формация среднего рифея; 2 – липариты и трахилипариты контрастных формаций позднего рифея – раннего палеозоя; 3 – улутауская живетско-франская непрерывно-дифференцированная формация живетско-франского возраста (Учалинская зона); 4 – раннекаменноугольная березовская базальт-липаритовая, кизильская базальт-трахиандезит-трахилипаритовая формация Восточной вулканогенной зоны; 5 – западная граница складчатого Урала; 6 – восточная граница обнаженного Урала; 7 – западная граница Центрально-Уральской зоны; 8 – Главный Уральский глубинный разлом; 9 – заводы по производству фарфора, художественной керамики, огнеупоров.

Цифры на схеме (перспективные районы):

1. г. Константинов Камень и хр. Хахарем-Пе;
2. г. Борзова;
3. хр. Изья-Хой; хр. Пайпудынский;
5. хр. Енгане-Пе;
6. хр. Манита-Нырды;
7. истоки рр. Кок-пела и Погурей;

8. р. Грубе-ю; 9. район Лемвинского гранитного массива; 10. рр. Хальмер-ю и Тынагота; 11. хр. Малды-Нырды; 12. г. Мана-рага; 13. Патокский район; 14. правобережье р. Торговой; 15. Тельпосско-Ильязский район; 16. хр. Илычский Поясовый камень; 17. хр. Мартаи; 18. Кваркушский хр.; 19. площади развития щегровитского комплекса или федотовской свиты басегской серии (хр. Басег и др.); 20. билимбаевский комплекс (Верхне-сергинский р-н); 21. р-н г. Нязепетровска; 22–25. Башкирский антиклинорий (22 – кувашский, 23 – машакский и шатакский комплексы, 24 – белетарский, 25 – кургасский комплексы); 26. Учалинская зона развития улутауской формации; 27. верховья р. Урал, область развития березовской и кизильской формаций; 28. Восточные Мугоджары, область развития космологского комплекса; 29. Еманжелинский р-н (карьер на берегу р. Биргельды и обнажения к ю-з от с. Ново-Троицкого); 30. Кунашакский р-н (близ оз. Урукуль); 31. р. Пышма, левый берег ниже Рудянского лога; 32. окрестности с. Покровского (покровский комплекс); 33. Колчеданное месторождение Куль-Юрт-Тау.

##### 5. Геолого-геохимические основы дальнейшего прогнозирования и поисков месторождений фарфорового камня на Урале

Выше были рассмотрены сведения об условиях нахождения и свойствах фарфоровых камней на территории Приполярного и Полярного Урала на отрезке от р. Щугор на юге до хр. Изъя-Хой на севере. Для выявления участков, перспективных на обнаружение фарфоровых аповулканитов в других районах Урала, были просмотрены тысячи опубликованных химических анализов горных пород. При этом приходилось учитывать, что обычно, если целью исследователя не является специальное изучение наложенных процессов, образцы на химанализы отбираются из наименее измененных разностей пород. Это значит, что фарфоровые аповулканиты – породы, которые приобрели свои полезные свойства в результате аллохимического метаморфизма – как правило, не подвергаются опробованию. Задача, таким образом, сводилась к тому, чтобы найти формации, содержащие породы, состав которых в наи-

большей степени приближался бы к составу кондиционных фарфоровых камней. В этом случае можно рассчитывать, что даже сравнительно небольшие изменения пород в результате наложенных процессов (как поствулканических, так и более поздних гидротермальных) могли приводить к требуемому смещению химического состава этих пород в сторону кондиции.

В зависимости от ряда условий (рН растворов, их температура, содержание растворенных в них компонентов) направление изменения химического состава вулканитов могло быть существенно различным; либо увеличение содержания  $\text{SiO}_2$  (окварцевание, образование вторичных кварцитов), либо увеличение количества  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – вплоть до образования почти чистого каолинита, либо повышение содержания  $\text{K}_2\text{O}$  – калишпатизация, либо комбинация этих процессов с выносом или привносом железа, магния и т.п. [2, 4, 6, 34 ].

В соответствии с этим [5] выделяют три формации метасоматитов, содержащих фарфоровые камни: 1 – формация вторичных кварцитов, содержащая фарфоровые камни каолинитового, пиррофиллитового и серицитового типов; 2 – аргиллизированных пород с фарфоровыми камнями каолинитового и серицитового типа; 3 – фельдшпатолитов с фарфоровыми камнями полевошпатового минерального типа.

Вместе с тем далеко не всякие изменения благоприятствовали образованию фарфоровых камней: например, содержания  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в неизменных дацитах и липаритах обычно и так отвечают кондиции. Суммарное содержание  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  в слабо измененных породах также может соответствовать требованиям. Содержание  $\text{TiO}_2$  в кислых эффузивах обычно невелико, – много меньше, чем в каолине

Что же касается суммарного содержания железа, то в неизменных кислых эффузивах оно, вероятно, всегда или почти всегда превышает кондицию (1%), – даже если учитывать, что эта цифра слегка завышается за счет дробления проб в стальных ступках. Вместе с тем имеются данные, указывающие на высокую подвижность железа и магния в кислых и слабокислых водах, в частности хлоридных, воздействие которых приводит к выносу этих компонентов из породы. Обеднение липаритов железом обычно внешне отражается в их заметном осветлении, что может слу-

жить одним из поисковых признаков фарфоровых аповулканитов.\*

Важнейшим критерием качества сырья является содержание щелочей. По [5] наиболее дефицитными разновидностями фарфоровых камней являются щелочные калиевые ( $K_2O + Na_2O > 3$ ,  $K_2O / Na_2O > 3$ ). При этом кислые эффузивы с требуемым содержанием и соотношением  $K_2O$  и  $Na_2O$  не обязательно являлись продуктами калишпатизации; среди них присутствуют породы, по всей вероятности, первично магматического происхождения, нормативный состав которых может приближаться к составу калишпата. Поэтому одним из наиболее важных критериев оценки перспективности вулканической формации на обнаружение щелочных высококалиевых фарфоровых камней является присутствие в ее составе светлых щелочных кислых вулканитов с первично высоким соотношением  $K_2O / Na_2O$ . Такие вулканиты практически неизвестны в геосинклинальных (океанических и островодужных) вулкано-генных формациях. На Урале лишь в Учалинской зоне развития улутауской формации [33], имеющей по последним данным живетско-франкский возраст, отмечаются калий-натровые липариты с  $K_2O / Na_2O$ , в среднем, около 1,8 (ан. 90, табл. 7); обычно же  $K_2O / Na_2O < 1$ . С другой стороны, щелочные калиевые и ультракалиевые кислые вулканиты довольно часто встречаются в формациях, образование которых сопровождало процессы активизации достаточно зрелой континентальной коры, как в условиях рифтогенеза, так и, возможно, в условиях коллизии и орогенеза.

На западном склоне Урала формации этой группы, образование которых происходило преимущественно в условиях эпиконтинентального рифтогенеза (контрастные базальт-липаритовая и трахибазальт-трахилипаритовая формации) наиболее широким развитием пользовались в позднерифейско(?) - вендско-раннепалеозойское время (рис. 9). Помимо уже описанных в предыдущих разделах липаритов Приполярного и Полярного Урала, относящихся к этой группе формаций и содержащих месторождения фарфорового

---

\* Другой причиной осветления может быть вынос углеродистого вещества, как в Гусевском месторождении [24], однако и в этом случае пятнистость, неравномерное осветление характеризует гидротермально измененные и выветрелые породы.

камня, сюда относятся липариты г. Константинов Камень, хр. Хахарем-Пе и г. Борзовой на крайнем севере Полярного Урала, субвулканические интрузии верховий рек Погурей и Кок-Пела, рвущие ордовикские отложения, вендские и, возможно, более древние липариты в верхнем течении р. Хальмерью, на правом берегу р. Торговой, на хр. Ильчский Поясовой Камень, в районе г. Мартай, на хр. Кваркуш, на хр. Басег (щегровитская свита), в Верхнесергинском и Нязепетровском районах (ан. 97–114, табл. 7, 8) [23, 18, 17, 22, 11, 31, 36 и др.].

Некоторые из приведенных анализов характеризуют заведомо измененные породы и практически удовлетворяют кондициям фарфоровых камней по [25] (ан. 102, 103, 106, 107, 112, 114, табл. 8).

Обращает на себя внимание высокое (от 300 до 1300 г/т содержание лантаноидов в ряде проб высоко- и ультракалиевых липаритов [36, 34, 26], что может положительно влиять на качество сырья в случае его применения для производства стекол. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

На западном склоне Южного Урала широко представлена среднерифейская вулканогенно-осадочная толща (машакская свита и ее возрастные аналоги [26]). Вулканы этой толщи могут быть отнесены к контрастной базальт-липаритовой формации с ясно выраженным субщелочным уклоном. Выборка анализов субщелочных кислых вулканитов из этой формации (табл. 6) указывает на широкое распространение трахилипаритов с  $K_2O / Na_2O \geq 4$ .

Содержание суммарного железа в проанализированных породах значительно превышает кондицию, однако вполне можно рассчитывать на его резкое снижение в зонах гидротермальной проработки (наличие подобных зон устанавливается в Башкирском антиклинории на примере месторождений магнезитов и сидеритов). К аналогичному результату могли приводить и поствулканические процессы, интенсивные проявления которых следует искать вблизи центров среднерифейского вулканизма. Что же касается содержания главных окислов ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , щелочи), то в трояной диаграмме (рис. 4) поле среднерифейских калиевых липаритов частично перекрывает поля фарфоровых камней.

Обращает на себя внимание также и то, что химические составы терригенных пород, ассоциирующих с вышеописанными вул-

канитами (ан. 81–83, 86–69, табл. 6, рис. зачастую принципиально не отличаются от составов этих вулканитов; они, возможно, и образовались за счет размыва липаритов или размыва их туфов. Во всяком случае, осадочные породы машакской свиты и ее аналогов также могут быть объектами опробования на керамическое сырье.

При поисках щелочных калиевых фарфоровых камней в Магнитогорском синклинории, помимо уже упоминавшихся липаритов улутауской формации, определенный интерес могут представлять поля развития раннекаменноугольных контрастных базальт-липаритовой березовской и трахибазальт-трахилипаритовой кизильской формаций [33]. Правда, при общей высокой щелочности, отношение  $K_2O$  к  $Na_2O$  в них меньше единицы. Однако есть данные о наличии в полях развития этих формаций и щелочных высококалиевых (до ультракалиевых) кислых эффузивов; высказывается предположение, что эти эффузивы относятся к самостоятельной позднекаменноугольно-пермской липаритовой формации [34]. Средний состав этих эффузивов не отвечает кондиции лишь по суммарному железу (ан. 93); по главным окислам он попадает в поле уральских фарфоровых аповулканитов (рис. 4). Имеются сведения о локальных проявлениях среди липаритов и туфов Магнитогорского синклинория интенсивных поствулканических процессов; крайнее развитие этих процессов приводило иногда (г. Соколов и др. районы) к почти полному выносу щелочей и красящих окислов из исходных вулканитов и к накоплению глинозема, с образованием пород, по валовому химическому составу приближающихся к каолину (ан. 94–96) [6] или кварц-пирофиллитовых пород [12]. О существовании на Урале месторождений таких пород нелишне здесь вспомнить еще и потому, что сами они также представляют собой керамическое сырье.

В Восточномуджарском поднятии наиболее изучен космологический раннекаменноугольный комплекс кали-натровых андезитов, дацитов и липаритов, возможно находящийся на продолжении зоны раннекаменноугольного контрастного вулканизма Магнитогорского синклинория. Этот комплекс охарактеризован большим количеством химанализов [31], некоторые из них довольно интересны, так что и в этом комплексе, возможно, имеет смысл поискать и изучить зоны вторичных изменений, хотя этот объект не является первоочередным.

В Восточной вулканогенной полосе Урала привлекают внимание липариты, объединенные В.А. Коротеевым и др. [20] в ранне-каменноугольную липаритовую формацию (позже описывалась как трахилипаритовая формация [21]). Из всех участков развития этой формации, располагающихся субмеридиональной цепочкой (рис. 9), наибольший интерес представляет Покровский участок. Ультракалиевые липариты, развитые здесь, подробно изучались К.С. Ивановым [13–15]. Они охарактеризованы большим количеством химических анализов (ан. 49–60, 66–76, табл. 5), среди которых встречаются составы, напрямую отвечающие кондиционным фарфоровым камням. Это связано, по-видимому, с широко проявленными наложенными процессами. Среди покровских липаритов довольно обычны осветленные, аргиллизированные разности; в нормативном составе некоторых проб появляется корунд. В тройной диаграмме (рис. 4) поле вулканитов Покровского комплекса перекрывает поля фарфоровых камней, тяготея к фарфоровым аповулканитам севера Урала (рис. 4), но отличаясь несколько пониженными значениями  $\text{SiO}_2$  (73–77%) и повышенной щелочностью ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - 6-9\%$  при  $\text{K}_2\text{O} \gg \text{Na}_2\text{O}$ ), что позволяет считать их аналогами сивягинского типа. Наличие в аповулканитах избыточного калишпатового компонента является не недостатком, а достоинством данного типа пород как исходного минерального сырья для фарфоровых камней, так как в технологических схемах для производства бытового и художественного фарфора в сырьевую смесь вводится до  $\frac{1}{4}$  части полевого шпата, который в нашем случае в достаточном количестве уже имеется в исходной породе.

Таким образом, Покровский участок можно рекомендовать в качестве одного из первоочередных объектов на разведку фарфорового камня, с отбором проб для промышленных испытаний, — тем более что этот участок расположен в непосредственной близости от главных центров уральской фарфорово-керамической промышленности (рис. 9).

Выше были рассмотрены особенности состава, формационная принадлежность и локализация кислых эффузивов, в наибольшей степени перспективных на обнаружение щелочных калиевых разновидностей фарфоровых камней. Что касается калий-натриевых и натриевых фарфоровых камней, то они также могут быть обнару-



жены в вышеупомянутых формациях, так как модуль  $K_2O / Na_2O$  в кислых эффузивах этих формаций варьирует в очень широких пределах. Кроме того, список формаций, перспективных на обнаружение натриевых и калий-натриевых фарфоровых камней сильно расширяется за счет геосинклинальных, – контрастных и последовательно дифференцированных формаций. В Магнитогорском синклинории в их число входят среднедевонские баймак-бурибайская, карамалыташская, ирендыкская, отчасти улутауская формации и их аналоги в Западных Мугоджарах. Подобные формации есть и в Восточной вулканогенной зоне Урала, а также в Тагильском синклинории. Особенно внимательно следует отнестись к изучению околорудных метасоматитов многочисленных медноколчеданных месторождений, связанных с этими формациями, где широко проявлена серицитизация, образование пиррофиллита и где вполне возможно обнаружение натриевых фарфоровых камней пиррофиллитового типа. Большие запасы кварц-пиррофиллитовых пород в баймак-бурибайской формации выявлены на колчеданном месторождении Куль-юрт-тау; решается вопрос их оценки как сырья для керамической промышленности [12].

Из всего вышеизложенного следует, что Урал можно рассматривать в качестве новой геологической провинции фарфорового камня. Проведение здесь специализированных поисковых и поисково-разведочных работ должно привести к открытию новых месторождений фарфоровых камней. Это, в свою очередь, расширит сырьевую базу и существенно улучшит географию разведанных ресурсов керамического сырья, способствуя не только увеличению общих объемов производства, но и сокращению перевозок сырья и готовой продукции.

## Выводы

Подводя итоги проделанной работы, можно сделать следующие выводы.

1. Комплексное изучение и освоение нового вида минерального сырья – фарфоровых аповулканитов, впервые установленного авторами на севере Урала, – позволит существенно укрепить сырьевую базу неметаллов и расширить данный вид производства в Коми АССР.

2. Физико-химические и структурные характеристики фарфоровой керамики, полученной из изучаемого нового минерального сырья, позволяют определить возможные области ее применения в керамическом производстве для изготовления:

- санитарно-технических изделий;
- посудохозяйственных и художественных керамических изделий;
- получения пористой керамики;
- получения специальной технической керамики (установочная керамика для низких частот, вакуум-плотная керамика, электроизоляторы);
- фасадных материалов.

Модификация состава керамической массы и введение целенаправленных добавок в нее будет приводить к улучшению механических, диэлектрических и структурных характеристик керамики и позволит значительно расширить возможные области ее применения.

3. Обнаружение залежей высокощелочных калиевых полевошпатовых фарфоровых камней сивягинского типа позволяет ставить также вопрос об их использовании в качестве полевошпатового сырья, не требующего ручного обогащения.

4. Снижение температуры обжига при получении авторами нового вида керамики из фарфоровых камней Урала на 100–200 °С (традиционные режимы получения электрофарфоровых изделий равны 1300–1350 °С) при прочих равных условиях способствует снижению удельного расхода топлива на 11–26%, что содействует общему режиму энергосберегающей политики.

5. Большие запасы фарфоровых аповулканитов, особенно калишпатовых, (более 200 млн. м<sup>3</sup>), поверхностное залегание, а в некоторых случаях близость железной дороги (район Пайпудынского хр. с запасами более 80 млн. м<sup>3</sup>) определяют экономическую целесообразность освоения данного вида сырья. Все это позволяет выделить новую сырьевую базу для развития фарфоровой и электротехнической промышленности в Коми АССР, и в конечном итоге приведет к большому экономическому эффекту и скажется на производственной и территориальной структуре Тимано-Печорского ТПК.

6. Рассмотрение особенностей петрохимического состава, геологии и географического расположения кислых вулканитов Северного, Среднего и Южного Урала позволило сделать вывод о высокой перспективности поисков и в этих районах месторождений фарфорового камня как высококачественного, дешевого по себестоимости сырья для существующих на Среднем и Южном Урале заводов по производству фарфора, керамики и огнеупоров. В качестве первоочередного объекта разведки предлагается покровский комплекс.

7. На примере Урала намечены принципы прогнозной оценки большой провинции на обнаружение месторождений фарфорового камня. Показано, что Урал является новой геологической провинцией фарфорового камня.

## Литература

1. Азаров Г.М., Савельева В.С. Применение полевошпатового сырья Мамско-Чутского месторождения для изготовления фарфора // Стекло и керамика. 1979. № 1. 27 с.
2. Аветиков В.Г., Белинская Г.В. Свойства тальков, используемых в керамической промышленности СССР. Труды ГНЭКИ, вып. 2, 1957. С. 3–10.
3. Будинков П.П. Неорганические материалы. М.: Наука, 1968. 420 с.
4. Бурзунов В.М. Требования промышленности к качеству минерального сырья // Полевошпатовое сырье, вып. 12. М., 1960. 41 с.
5. Васянов Г.П., Горбачев В.Ф. Фарфоровые камни // Неметаллические полезные ископаемые СССР. М.: Недра, 1984. С. 125–134.
6. Говорова А.В. Высокоглиноземистые продукты палеозойской поствулканической деятельности на Урале. М.: Наука. 1979. 131 с.
7. Голдин Б.А. и др. Вулканические комплексы рифея и нижнего палеозоя севера Урала. Л.: Наука, 1973. 212 с.
8. Голдин Б.А., Давыдов В.П., Каримов Н.А., Мизин В.И. Липаритовые комплексы Осево́й зоны севера Урала // Палеовулкани́ты Урала. 1975. С. 137–150.
9. Голдин Б.А., Калинин Е.П., Пучков В.Н. Минеральные типы фарфорового камня в докембрийских вулканитах Севера Урала. // Раннегеосинклиальный вулканизм и металлогения Урала. Вулканизм докембрия некоторых регионов СССР. Т. II. Свердловск, 1983. С. 28–29.
10. Григорович М.Б., Блоха Н.Т. Словарь по минеральному сырью для промышленности строительных материалов. М.: Недра, 1976. С. 88.
11. Зыкин Н.В., Старков Н.П. Кварцевые порфиры хр. Кваркуш на Урале // ДАН СССР. 1950. Т. 72, № 2. С. 385–388.
12. Зайков В.В., Корнилов Ю.Б., Сияжковская И.В. Пиррофиллит в околорудных метасоматитах серноколчеданного месторождения Куль-Юрт-Тау (Южный Урал) // Минералы месторождений Южного и Среднего Урала. Свердловск, 1985. С. 100–104.

13. Иванов К.С. Ультракалиевые липаритовые порфиры на Урале // ДАН. 1979. Т. 247, № 4. С. 908–911.
14. Иванов К.С. О петрологии Покровского липаритового комплекса и Рефтинского габбро-плагиогранитного массива (Средний Урал) // Ежегодник ИГиГ УНЦ АН СССР – 1977. Свердловск, 1978. С. 61–65.
15. Иванов К.С., Олерский В.П., Копанев В.Ф. Ультракалиевые липаритовые порфиры Покровского комплекса (Средний Урал) // Геосинклинальный вулканизм Урала ... , Свердловск, 1980. С. 131–139.
16. Калинин Е.П., Беляев В.В., Пучков В.Н. Геохимические особенности гипергенного изменения гранитов в зоне Кефта-лькского разлома // Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР, вып. 13. 1969. С. 101–112.
17. Калинин Е.П., Пучков В.Н. Новые данные о геологии и редкометальной металлогении горных пород Урала в бассейне Верхней Печоры // Тр. ИГ КФАН СССР, вып. 9. 1968. С. 49–60.
18. Калинин Е.П., Пучков В.Н. Анализ сложно построенного гранито-гнейсового комплекса // Докембрий и нижний палеозой Урала. Свердловск, 1978. С. 72–83.
19. Камень фарфоровый // Геол. словарь. М.: Недра, 1973. С. 302–303.
20. Коротеев В.А., Дианова Т.В., Кабанова Л.Я. Среднепалеозойский вулканизм восточной зоны Урала. М.: Наука, 1979. 130 с.
21. Коротеев В.А. Среднепалеозойский вулканизм в формировании земной коры восточного склона Урала: Автореф. дис. ... д-ра г.-м. н. Свердловск, 1980. 41 с.
22. Курбацкий А.М., Клименко Б.В., Курбацкая Р.А. Кварцевые порфиры бассейна р. Велс на Северном Урале // Геол. и петрог. зап. Урала, вып. 6. 1974. С. 65–68.
23. Лучинин И.Л. Нижнепалеозойская липаритовая формация Центрально-Уральского поднятия: Автореф. дис. ... канд. г.-м.н. Свердловск, 1975. 30 с.
24. Магидович В.И. Полевошпатовое сырье, его генетические типы и принципы оценки. М.: Наука, 1964. 144 с.
25. Магидович В.И., Финько В.И. Фарфоровые камни // Новые виды неметаллических полезных ископаемых. М.: Наука, 1975, С. 240.

26. Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М. Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского антиклинория (Южный Урал). Свердлов., 1986. 105 с.
27. Петров В.В. 1982. Рассказы о поделочном камне. М.: Наука. 104 с.
28. Ремпель А.М., Сухов П.В. Требования промышленности к качеству минерального сырья. Вып. 64: Керамическое сырье. М.: Недра, 1965. 94 с.
29. Романович И.Ф. и др. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых: Уч. пособие. М.: Недра, 1982. 210 с.
30. Рыжков И.И. Об основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1984–1990 годы и на период до 2000 года: Доклад на XXVII съезде КПСС // Правда от 4 марта 1986 г. С. 2–5.
31. Старков В.Д., Знаменский Н.Д. Гранитоидный магматизм Восточно-Мугоджарского поднятия. М.: Наука, 1977. 132 с.
32. Старков Н.П., Зильберман А.М. Базитовые магматические формации западного склона Северного и Среднего Урала // Учен. записки Перм. ун-та. 1974. № 203. С. 43–56.
33. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Геосинклинальный вулканизм (на примере Южного Урала). М.: Изд-во МГУ, 1977. 279 с.
34. Червяковский С.Г. К вопросу о происхождении кислых вулканитов Магнитогорского синклинория // Ежегодник – 1980 / ИГГ УНЦ АН СССР. Свердловск, 1981. С. 68–70.
35. Червяковский С.Г. Постмагматические процессы в кислых вулканитах // Геохим. и минералог. первичных и вторичных ореолов. Свердловск, 1986. С. 27–35.
36. Широбокова Т.И. Стратиформное полиметаллическое оруденение Урала: Научн. докл. УНЦ АН СССР. Свердловск, 1985. 77 с.

## Содержание

Введение .....	3
1. Общие сведения о фарфоровых камнях .....	3
2. Фарфоровые камни севера Урала .....	6
3. Химический состав фарфоровых камней .....	9
4. Технологическое изучение фарфоровых камней севера Урала для получения керамики .....	24
5. Геолого-геохимические основы дальнейшего прогнозирования и поисков месторождений фарфорового камня на Урале .....	42
Выводы .....	47
Литература .....	50

Урал – новая геологическая провинция  
фарфорового камня

Препринт

Рекомендовано к изданию  
Ученым советом Института геологии  
и геохимии и РИСО Уральского научного  
центра АН СССР

Отв. за выпуск А.Т. Расулов

---

Подписано к печати 26.11.86

Формат 60 × 84 1/16

Печать офсетная

Тираж 300

НС 18425

Бумага типографская

Усл. печ. л. 3,5 Уч.-изд. л. 3

Цена 30 коп. Заказ 524

---

Институт геологии и геохимии

ГСП 644, Свердловск,  
Почтовый пер., 7.

Цех. № 4 п/о "Полиграфист".

Свердловск, ул. Тургенева, 20