

---

---

*П. В. Фролов, В. И. Соколов, А. А. Иванов, А. В. Гаранжа*

## **ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ И ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ОТАЛЬКОВАННЫХ СЕРПЕНТИНИТОВ УЧАСТКА «УРОСОЗЕРО»**

Тальк-карбонат-хлоритовые породы (горшечный камень) являются уникальным природным материалом, который можно использовать в различных производствах благодаря его ценным свойствам (щелоче- и кислотоупорность, высокая огнеупорность, теплоемкость, кроме того, горшечный камень хорошо поддается механической обработке). Результаты исследований свойств природных и термообработанных тальк-карбонат-хлоритовых пород, серпентинитов и возможности их практического применения приводятся в опубликованных работах В. И. Соколова (Соколов, 1995, 2000а, б). В этом отношении, по мнению авторов, представляет интерес участок «Уросозеро» Центральной Карелии Сеgezского района (рис. 1) с распространёнными здесь метаморфизованными ультрамафитами. Уросозерское проявление горшечного камня было выявлено поисковыми работами В. С. Степанова и в дальнейшем изучалось Е. Н. Афоной при проведении ревизионно-опробовательских работ (Карельская геологическая экспедиция).

Среди других минералов интерес представляет повсеместно присутствующий в ультрамафитах амфибол, который не ведет себя пассивно, а оказывает влияние на показатели свойств вышеназванных пород на участке «Уросозеро». Здесь была отобрана технологическая проба (ТП-1) весом 50 кг из амфиболсодержащих оталькованных серпентинитов с целью изучения влияния амфибола на свойства талькосодержащих пород. Результаты испытания технологической пробы оталькованных ультрамафитов Уросозера сравнивались по свойствам с наиболее изученными в Карелии тальк-карбонат-хлоритовыми породами месторождения Каллиево-Муренанвара (месторождение горшечного камня Сегозерской группы).

Участок «Уросозеро» расположен в западной части Уросозерской реликтовой структуры северо-восточного окончания Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Структуру слагают верхнеархейские (лопийские) образования, претерпевшие неоднократный метаморфизм с сопутствующим метасоматозом (Король, 2000). Геологическое строение Уросозерской площади представлено, главным образом, осадочно-вулканогенным комплексом, включающим зеленокаменные породы амфибол-плагиоклазового, амфибол-биотит-плагиоклазового состава, с реликтами серпентинизированных

коматиитов и останцами кварцитов (рис. 2). Указанную толщину прорывают дайки габбро-диабазов, габбро-амфиболитов, ультраосновных пород. На участке, кроме того, имеют место мелкие штокообразные тела пегматоидных плагиомикроклиновых гранитов, а также жилы кварц-микроклиновых пегматитов, являющихся здесь самыми молодыми образованиями.

В пределах площади Уросозерского участка Е. Н. Афоной отмечено пять серпентинитовых тел.

В процессе поисковых работ на горшечный камень, проводимых Карельской геологической экспедицией, было выделено два участка: «Уросозеро-1» и «Уросозеро-2». Камень может быть пригоден для изготовления облицовочной плитки, каминов, бытовой посуды, производства молотого порошка и др. (Фролов, 2003).

Тело ультрамафитов участка «Южный» отличается от других изометричной формой (площадь около 0,2 км<sup>2</sup>), значительным содержанием амфибола в породе, относительно невысоким ее оталькованием, наличием прожилков хризотил-асбеста (по данным Е. Н. Афоной). Морфология залежи, состав и структурно-текстурные особенности породы позволяют отнести тело к интрузивной фации ультрамафитов пироксенитового ряда.

Отбор технологической пробы (ТП-1) для определения физических свойств природных и термообработанных оталькованных пород интрузивной фации ультрамафитов осуществлялся из оталькованных серпентинитов участка «Южный».

Другие залежи ультрамафитов представляют собой тремолитизированные карбонатизированные антитигритовые серпентиниты по перидотитовым коматиитам. Именно они имеют главные перспективы на тальк-карбонат-хлоритовый камень.

Наиболее перспективным является участок «Уросозеро-1», где в северной части отмечается повышенное содержание талька и магнезиального карбоната в породах (по данным Карельской геологической экспедиции). Тальк-карбонатные породы имеют место и в пределах поля выхода мелкого штока пегматоидных гранитов с севера от серпентинитовых залежей участка «Уросозеро-1».

Главную роль в образовании тальк-карбонатных пород здесь играют следующие факторы:

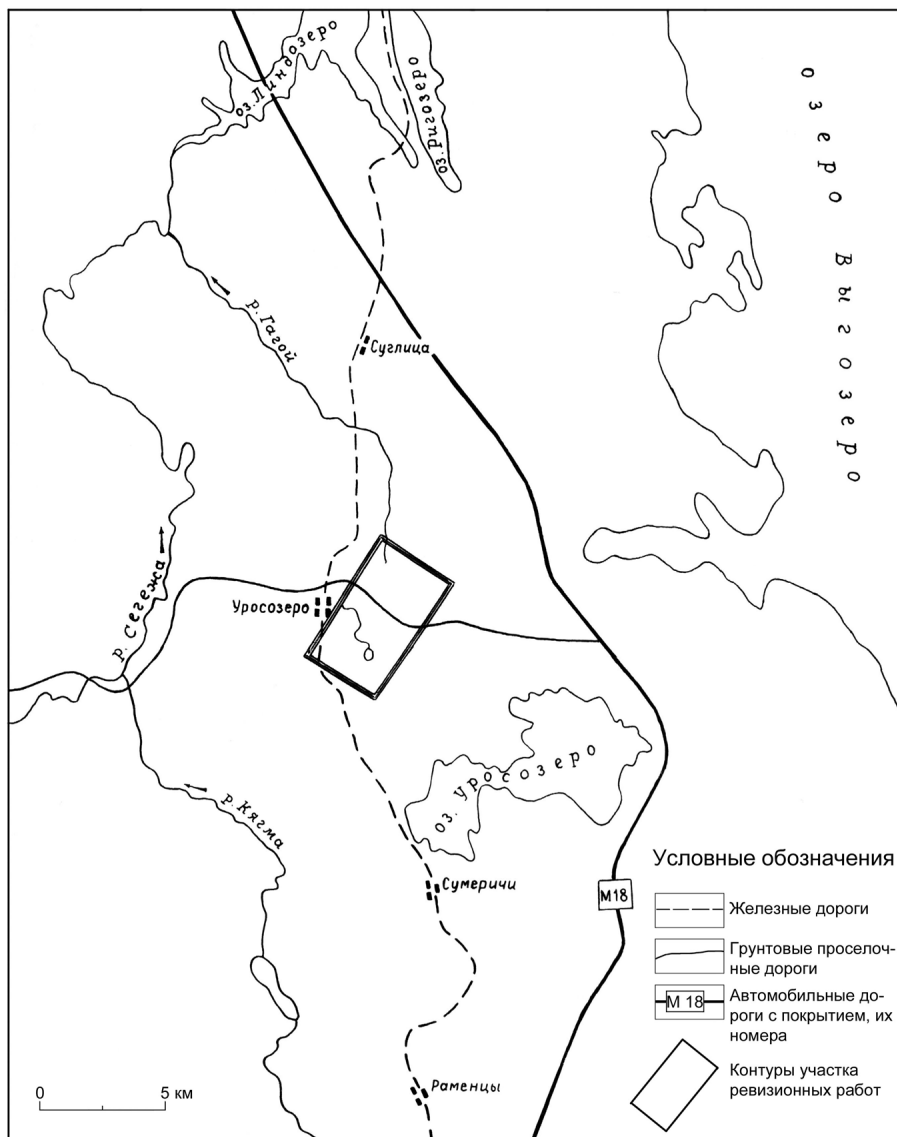


Рис. 1. Схема расположения участка «Уросозеро»

- поле развития перидотитовых коматиитов;
- тектонические зоны (особенно зоны пересечения разноориентированных разломов);
- наличие зон проницаемости для гидротерм, связанных с разломами глубинного заложения, что обеспечивает доступ углекислоты из верхней мантии, приводящий к образованию тальк-карбонатных пород по серпентинитам.

Внедрение даек происходило позднее главных метасоматических преобразований ультрамафитов и играло в талькообразовании второстепенную роль, но при этом могло заметно повлиять на образование разных минеральных ассоциаций горшечного камня (соотношение талька, хлорита, карбонатов, серпентина, амфибола, магнетита, сульфидов).

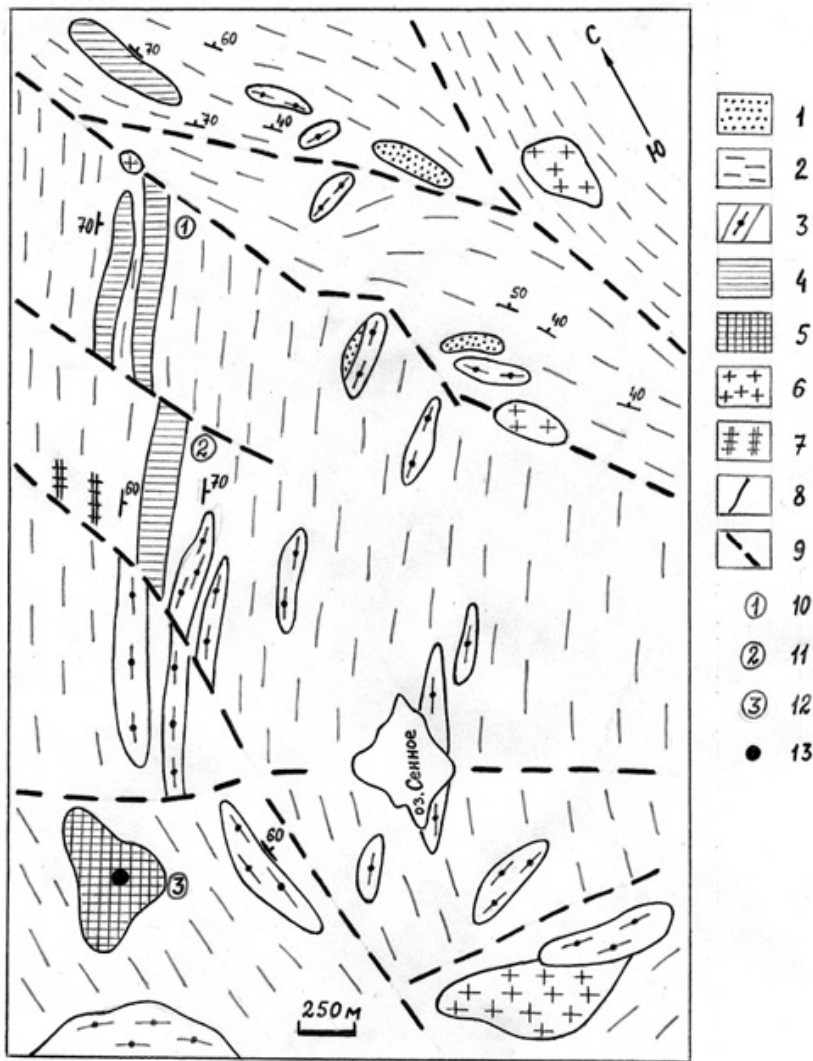
Минеральный и химический составы горшечного камня Уросозерского участка существенно варьируют (табл. 1, 2).

Для оталькования ультрамафитовых интрузивов требуются более энергетически интенсивные процессы, чем коматиитовых толщ. Поэтому в интрузивных

фациях чаще проявлена лишь полная серпентинизация пород и в меньшей степени – оталькование.

Таблица 1  
Результаты химического анализа проб тальк-карбонат-хлоритовых пород Калливно-Муренанвары и тальксодержащих пород Уросозера

Оксиды	Содержание оксидов, %		
	Уросозеро	Проба ПП-1	Калливно-Муренанвара
SiO <sub>2</sub>	35,70–53,12	42,08	34,50
TiO <sub>2</sub>	0,15–0,22	0,21	0,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,62–6,56	5,77	3,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,24–5,21	3,00	4,52
FeO	3,44–5,91	6,03	6,17
MnO	0,054–0,194	0,098	0,143
MgO	28,34–34,75	28,34	26,86
CaO	0,07–4,98	4,98	6,44
Na <sub>2</sub> O	0,02–0,10	0,10	0,02
K <sub>2</sub> O	<0,01–0,02	0,02	Не обн.
H <sub>2</sub> O	0,08–0,44	0,21	0,09
ппп	6,55–15,54	8,81	17,17



**Рис. 2. Схематическая геологическая карта участка «Уросозеро»** (составлена на основе данных В. С. Степанова, 1958 и Е. Н. Афоной, 1994):

1 – слюдяные кварциты; 2 – зеленокаменные породы амфибол-плагноклазового состава; 3 – дайки амфиболитов и метагаббро-диабазов; 4 – серпентинизированные перидотитовые коматиты; 5 – серпентинизированные амфиболизированные ультрамафиты (пироксениты); 6 – микроклиновые, плаггиомикроклиновые граниты; 7 – пегматитовые жилы; 8 – геологические границы; 9 – разломы; 10 – участок «Уросозеро-1»; 11 – участок «Уросозеро-2»; 12 – участок «Южный»; 13 – место отбора технологической пробы ТП-1

**Таблица 2**  
**Минеральный состав тальксодержащих пород Уросозера**

Минерал	Пределы изменения содержания минералов, %	Содержание минералов в пробе ТП-1, %
Тальк	0–81,0	13,07
Серпентин	0–78,5	14,53
Хлорит	2,43–24,50	19,24
Карбонат	0–28,0	18,77
Амфибол	0–46,15	45,77
Рудный	0,33–8,56	0,33

Примечание. В двух образцах из 28 отмечен флогопит с содержанием до 8%.

**Таблица 3**  
**Плотностные свойства обожженных пород пробы ТП-1**

Температура обжига, °С	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Эффективная пористость, %	Водопоглощение, %	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Общая пористость, %
100	2,87	0,33	0,11	2,88	0,35
500	2,82	0,65	0,22	2,84	0,80
600	2,82	0,63	0,22	2,90	2,80
700	2,84	0,51	0,18	2,88	1,40
800	2,76	2,81	1,02	2,88	4,20
900	2,61	7,97	3,84	2,89	9,70
1000	2,65	11,23	5,36	3,09	14,10
1100	2,57	15,14	5,22	3,06	15,50
1200	2,55	15,77	6,20	3,065	16,90
1300	2,60	4,31	1,69	3,07	15,40

### Физические свойства природных и термообработанных тальксодержащих пород участка «Уросозеро»

Изучены физические свойства тальксодержащих пород участка «Уросозеро» и проведено сравнение их показателей с соответствующими показателями свойств тальк-карбонат-хлоритовых пород известного месторождения Каллиево-Муренанвара.

Определение коэффициента теплопроводности проводилось на измерителе ИТЭМ-1М на образцах в виде дисков диаметром 15 мм и толщиной около 4 мм. Точность определения коэффициента теплопроводности составляет 10%. Остальные показатели свойств определены стандартными методами с использованием соответствующих известных методик.

По химическому составу породы Уросозера (14 образцов) мало отличаются от пород Каллиево-Муренанвары (табл. 1).

Результаты определения минерального состава 28 проб, отобранных на участке, показывают, что породы характеризуются крайней его неоднородностью (табл. 2). Этим они сильно отличаются от пород месторождений Сегозерской группы, где содержание минералов варьирует в следующих пределах: тальк – 41–46%, хлорит – 32–35%, карбонаты – 18–27%, рудные минералы – до 3%.

Для более детального исследования физических свойств выбрана проба ТП-1. Отличительной ее особенностью является наличие в породе большого содержания амфибола, что представляет интерес для выявления его влияния на свойства природных и термообработанных тальксодержащих образований.

Основным фактором при обжиге данной породы является увеличение как эффективной, так и общей пористости материала с ростом температуры обработки (табл. 3). Однако если пористость тальк-карбонат-хлоритовых пород традиционных месторождений достигает 25%, то для пробы с амфиболом она не превышает 17%. Это является следствием меньшего содержания в пробе ТП-1 зерен талька, хлорита и карбоната, при разложении которых образуется больше пустот (Соколов, 1995).

Минералы, входящие в состав исследуемой пробы, в процессе нагрева разлагаются с выделением аморфной фазы, способствующей спеканию материала и увеличению его прочности (табл. 4). При температуре обжига 1100 °С показатель прочности составляет 110 МПа. Это несколько ниже, чем для пород Каллиево-Муренанвары, прочность которых достигает 157 МПа, что объясняется меньшим содержанием аморфной фазы в исследуемой пробе и, следовательно, неполнотой спекания.

Особенность хода зависимости прочности от температуры (рис. 3) объясняется различием в температурах, при которых происходит распад отдельных минералов. Понижение прочности при температурах обжига выше 1100 °С происходит за счет некоторого разрушения структуры материала.

Теплопроводность природных тальк-карбонат-хлоритовых пород несколько выше, чем у исследуемой пробы Уросозера (табл. 5). Коэффициент теплопроводности материала, полученного обжигом исходной породы, зависит в основном от пористости;

с ее увеличением коэффициент теплопроводности закономерно убывает. Ход этой зависимости показан на рис. 4. Там приведена и эта же зависимость для тальк-карбонат-хлоритовых пород Каллиево-Муренанвары. Указанные зависимости мало отличаются. Некоторые несоответствия обусловлены различием в составе пород. Отметим, что степень кристалличности сначала убывает с ростом температуры обжига, а после 1000 °С – возрастает. Это связано с перекристаллизацией минералов. Минимум кристалличности соответствует минимальной теплопроводности.

Таблица 4  
Результаты определения прочности термообработанных образцов пробы ТП-1

Температура обжига, °С	Значение предела прочности, МПа					Среднее
	Номер образца					
	1	2	3	4	5	
100	49,2	56,4	36,0	33,3	34,0	42,0
500	32,8	31,6	34,6	27,9	33,5	32,0
600	35,6	39,6	30,4	40,9	40,2	37,0
700	34,8	42,8	69,6	22,7	53,2	45,0
800	38,4	33,7	56,4	47,8	54,4	46,0
900	42,5	29,7	25,1	49,3	42,7	38,0
1000	69,7	89,0	62,0	73,0	63,8	72,0
1100	93,5	120,0	98,5	141,6	95,2	110,0
1200	101,5	96,3	69,0	100,3	123,4	98,0
1250	103,7	55,6	105,2	69,5	51,2	77,0

Таблица 5  
Теплопроводность и степень кристалличности термообработанных тальксодержащих пород

Температура обжига, °С	$\lambda_1$ , Вт/(м × К)	$\lambda_2$ , Вт/(м × К)	S	K, %	$B \times 10^{-3}$
100	4,09	4,7	0,15	4	-2,8
500	2,91	4,93	0,24	8	-1,5
600	3,15	3,60	0,55	17	-1,1
700	3,17	2,24	0,42	13	-0,5
800	2,08	1,40	0,33	16	0,7
900	1,32	1,16	0,25	19	1,4
1000	0,78	0,85	0,13	17	1,5
1100	0,76	1,04	0,14	18	1,0
1200	0,995	1,23	0,05	6	1,2
1250	1,14	1,62	0,16	14	0,8

Примечание. S – среднее квадратичное отклонение, K – коэффициент вариации,  $B \times 10^{-3}$  – константа, характеризующая степень кристалличности материала;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности:  $\lambda_1$  – Уросозеро,  $\lambda_2$  – Каллиево-Муренанвара.

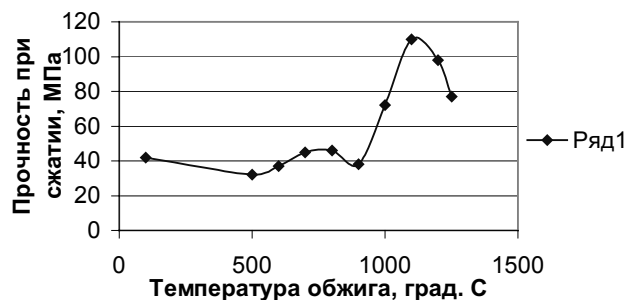


Рис. 3. Зависимость прочности образцов пробы ТП-1 от температуры обжига

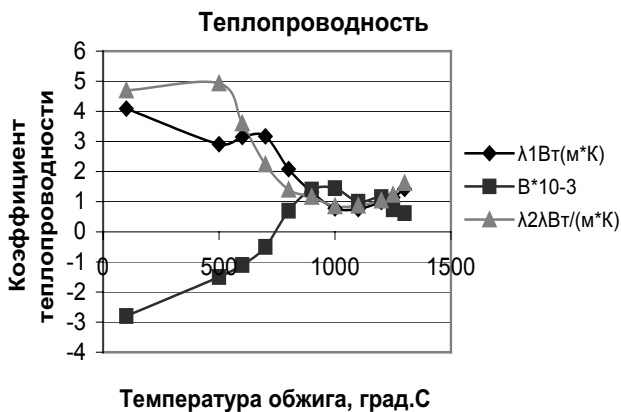


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности  $\lambda$  и коэффициента  $B \times 10^{-3}$ , определяющего степень кристалличности, от температуры обжига талькосодержащих пород:

$\lambda_1$  – Уросозеро,  $\lambda_2$  – Каллиево-Муренанвара

Удельная теплоемкость, измеренная по 14 пробам, варьирует в довольно широком диапазоне, – от 650 до 820 Дж/(кг  $\times$  К). Причем максимальные ее значения наблюдаются для образцов с наибольшим содержанием талька, а минимальные характерны для образцов с большим содержанием серпентина. Для пробы ТП-1 она составляет 730 Дж/(кг  $\times$  К). Для сравнения: удельная теплоемкость породы Каллиево-Муренанвара составляет 850 Дж/(кг  $\times$  К).

Полученный по известной взаимосвязи ( $\lambda = a \times \rho \times c$ ) коэффициент температуропроводности для пробы ТП-1 Уросозера составляет  $1,95 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Тот же показатель, измеренный для тальк-карбонат-хлорито-

вых пород Каллиево-Муренанвара, равен  $1,79 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

По химическому составу пробы Уросозера близки к сегозерскому типу тальк-карбонат-хлоритовых пород.

Породы участка «Уросозеро», в отличие от пород месторождения Каллиево-Муренанвара, характеризуются значительной неоднородностью минерального состава.

При обжиге пористость пород исследованной пробы ТП-1, содержащих значительное количество амфибола, увеличилась до 17%; соответствующий показатель для тальк-карбонат-хлоритовых пород составляет 25%.

Для обоих типов пород в функциях зависимости прочности образцов от температуры их обжига при 1000–1100 °С наблюдается максимум прочности. Однако для пород Каллиево-Муренанвара показатель прочности несколько выше этого же показателя для пробы ТП-1 (157 и 110 МПа соответственно).

Минимум кристалличности термообработанных пород соответствует минимуму их пористости, теплопроводности и максимальным значениям прочности. Термообработанные породы Уросозера при 1000–1100 °С обладают достаточно высокими теплозащитными свойствами и, с учетом их значительной прочности, представляют практический интерес. По аналогии с применением тальк-хлорит-карбонатных пород и серпентинитов изученные породы могут использоваться в качестве теплоизоляционных, футеровочных материалов, в производстве пресованных обожженных изделий и в других направлениях.

## ЛИТЕРАТУРА

Король Н. Е. Метаморфическая эволюция пород Уросозерской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 2. Петрозаводск, 2000. С. 35–42.

Соколов В. И. Тальк-хлоритовые сланцы Карелии и пути их комплексного использования. Петрозаводск, 1995. 130 с.

Соколов В. И. Влияние термообработки на теплофизические свойства серпентинитов // Геология и полезные ис-

копаемые Карелии. Вып. 2. Петрозаводск, 2000а. С. 97–99.

Соколов В. И. Физико-механические свойства серпентинитов и продуктов их обжига // Там же. 2000б. С. 94–96.

Фролов П. В. Тальк Карелии. Размещение проявлений, некоторые особенности геологии и минерогенеза залежей промышленных типов руд // Геолого-технологические исследования промышленных минералов Фенноскандии. Петрозаводск, 2003. С. 38–51.