

В. П. Ильина, Т. В. Попова, П. В. Фролов

ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ КАРЕЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Введение

В связи с увеличением потребности металлургической, огнеупорной, керамической, химической и других отраслей промышленности в высокомагнезиальном сырье особый интерес представляют высокомагнезиальные породы, распространенные на территории Карелии. К ним относятся: оливиниты, дуниты, пироксениты, серпентиниты, пикриты (пикритовые базальты), тальксодержащие породы, доломиты. Наибольшее распространение имеют серпентиниты, являющиеся продуктом гидротермально-автометасоматического изменения (серпентинизации) ультрамафитов. Выделено два формационных типа магнезиальных пород: эффузивной (коматииты и магнезиальные вулканиты) и интрузивной (расслоенные интрузии и недифференцированные массивы) фаций магматизма, в различной степени подвергшихся вторичным изменениям – серпентинизации, хлоритизации, карбонатизации, оталькованию, а также осадочные образования с повышенным содержанием MgO – магнезиальные карбонаты. Проведенные ранее геолого-минералогические исследования мафит-ультрамафитовых комплексов зеленокаменных поясов Карельского кратона позволяют наметить некоторые перспективные для комплексного использования объекты, в том числе высокомагнезиального сырья: в юго-восточной части Карелии – ультрамафитовый массив Бураковской расслоенной интрузии, в Северной Карелии – Тикшеозерский и Каменноозерский массивы (Лавров и др., 2004а; Щипцов и др., 2007). Известны два месторождения (Турган-Койван-Аллуста и Калиево-Муренанваара) и более 20 проявлений тальксодержащих пород (Романович и др., 1973; Фролов, Фурман, 2003).

В данной работе с учетом требований промышленности к высокомагнезиальному сырью рассматриваются химический и минеральный составы высокомагнезиальных пород различных месторождений и проявлений Карелии с целью выявления областей их практического применения. Используются данные собственных исследований и опубликованных материалов по изучению высокомагнезиальных пород Карелии (Щипцов, 2005).

Требования к высокомагнезиальному сырью

В табл. 1 приведены требования промышленности к магнезиальному сырью. Возможность использования высокомагнезиального сырья в различных направлениях определяется рядом факторов: постоянством состава, содержанием сопутствующих минералов, а также структурой, размером и характером распределения зерен магнезиальных минералов, количеством примесей. Режим обжига сырья при производстве термоактивированного серпентинита («метасерпентинита») для получения вяжущих и мелиорантов определяется видом серпентинового минерала, так как структурные особенности серпентиновых минералов (хризотила, лизардита, антигорита) влияют на температуру дегидратации.

Присутствующие примеси, например, в серпентините (карбонаты, полевой шпат и др.), оливините (сунгулит и др., Хабозерское месторождение) усложняют технологическую переработку сырья и ухудшают свойства полученных на их основе материалов (Макаров, 1989; Калинин и др., 2003). Присутствие в магнезиальном сырье оксидов кальция, алюминия, железа оказывает отрицательное влияние на свойства получаемых из него огнеупоров и электрокерамики, снижая огнеупорность и электросопротивление (Будников и др., 1972). В отличие от других областей применения, большое количество железа в серпентините, используемом в качестве заполнителя бетона, не является недостатком, а наоборот, повышает защитные свойства бетона, используемого в качестве биологической защиты атомных реакторов (Серпентинит..., 1973).

Дуниты и оливиниты

Значительные запасы дунитов известны в Аганозерском блоке Бураковской интрузии, где мощность ультрабазитовой зоны (УЗ) составляет не менее 3 км, из которых ~2,6 км представлено высокомагнезиальными дунитами (Fo₈₅₋₉₀) и аподунитовыми серпентинитами, а верхняя часть – серпентинизированными верлитами и лерцолитами (Лавров и др., 2004а). Дуниты УЗ на 95–98% состоят из оливина, 0,5–2% хромита и 0–5% интеркумулятивных пироксенов, плаги-

Таблица 1
Требования к магнезиальному сырью, масс. %

Область применения	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	FeO + Fe ₂ O ₃	ппп	H ₂ O	Крупность, мм
Серпентиниты								
Форстеритовые огнеупоры	< 1,5–2	< 2–3			Не более 6			
Кордиеритовая электрокерамика	< 0,5–0,8				< 3,5			
Материалы для металлургии	Не более 2		Не более 38	Не менее 38	Не более 5	Не более 18		
Материалы для биологической защиты ядерных реакторов: засыпка, заполнитель бетона							Не менее 7 Не менее 9–10	
Адсорбенты для очистки воды и газов	Не более 2		Не менее 30	Не менее 35	Не более 5	Не более 18		
Дуниты, оливиниты								
Форстеритовые, форстерито-хромитовые и периклазо-форстеритовые огнеупоры				40–50	Не более 6			
Доломиты								
Стекольная промышленность	Не более 34	< 1,5–2	< 1,5–2	Не менее 18	< 0,1–0,4		< 7	
Электрокерамическое производство	Не более 32,5	< 0,5	Не более 3	Не менее 19	< 0,05			Для керамических изделий: 20–351
Целлюлозно-бумажная промышленность			Не более 0,5–3	Не менее 34,4	(FeO + Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃) менее 1–3			
Производство абразивных материалов («венская извесь»)»	Не более 32,5			Не менее 19,5				20–300
Водоочистка			Не более 1	Не менее 20	Полуторные оксиды + кремнезем – не более 3			
Сельское хозяйство (доломитовая мука)				CaCO ₃ + 1,2 MgCO ₃			Влага – не более 1,5	Менее 1
Огнеупоры	Не менее 45–10		< 5	Не менее 75–35		Не более 1	Не более 1	
Талькосодержажщие породы								
Тальк молотый для керамической промышленности ГОСТ 21234-75	< 0,5–0,8			24–28	Fe ₂ O ₃ – не более 5–8	< 8–10	Влага – не более 2	

оклаза и флогопита (Лавров и др., 2004б). По разрезу скв. 20 Аганозерского блока химический состав нерсерпентинизированных дунитов находится в пределах (масс. %): MgO 42,02–46,77; SiO₂ 38,2–40,22; Al₂O₃ 0,26–0,79; CaO 0,21–0,57; FeO 7,9–11,73; Fe₂O₃ 0,86–3,02; ппп 1,44–3,32 (Лавров и др., 2004а).

Оливиниты являются наиболее ценным сырьем для производства форстеритовых огнеупоров. В отличие от серпентинитов в этих породах отсутствует химически связанная вода, они не дают усадки и не разрыхляются при обжиге. Оливиниты с содержанием оливина 70–90% присутствуют в центральных частях многих массивов ультрамафитов Северной Карелии, но наибольшие площади они слагают в Невгозерском, Ортсаьярви, Тикшеозерском и Каменноозерском массивах. В качестве второстепенных минералов присутствуют магнетит (2–8 масс. %), серпентин (10–30 масс. %), в небольшом количестве – тремолит и реже – антофиллит, хлорит, тальк (Лавров, 1979). На основании химических анализов оливинитов (табл. 2) и мономинеральных фракций оливина указанных массивов (Лавров, 1979) установлено, что по содержанию Al₂O₃ и CaO

оливиниты массивов удовлетворяют требованиям к магнезиальному сырью для производства форстеритовых огнеупоров, но содержат повышенное количество Fe₂O₃ + FeO (8–10%), связанное с присутствием магнетита. Для решения вопроса о возможности применения оливинитов данных массивов необходимо проведение исследований по их обогащению. Как показали ранее проведенные исследования дунитов Сопчеозерского месторождения (Калинников и др., 2003), содержащих до 13 масс. % Fe₂O₃, использование гравитационных и магнитных методов обогащения позволяет получить из них концентраты, пригодные для синтеза форстеритовых огнеупоров, отвечающих требованиям стандартов и потребителей. Дуниты Аганозерского блока, содержащие повышенное количество FeO (7,9–11,73%) и Fe₂O₃ (0,86–3,02%), также необходимо обогащать для применения в производстве огнеупоров.

В Институте геологии проведены испытания и установлено, что оливиниты Тикшеозерского массива являются потенциальным источником для получения плавящихся фосфатно-магниевого удобрений (Каменова и др., 2004).

Серпентиниты

По данным, приведенным в табл. 3, видно, что кемиститы и серпентиниты Аганозера наиболее богаты магнием (36–38%) и содержат незначительное количество примесей Al_2O_3 (0,1–0,5%) и CaO (0,24–0,5%). В светлоозерских серпентинитах (30 проб) также достаточно высокое содержание MgO (34%) и малое количество примесей Al_2O_3 (0,78%) и CaO (0,64%). По сравнению с ними породы остальных участков (Хаутаваара, Вожемский, Таловейс) характеризуются более низким содержанием MgO (27,7–32,39%) и значительно более высоким содержанием Al_2O_3 (до 6%) и CaO (до 5,8%).

Минеральный состав исследованных проб определен с помощью оптической микроскопии, рентгенофазового анализа, изучение породообразующих минералов также проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа Vega II LSH с энергодисперсионным анализатором INCA Energy 350 в ИГ КарНЦ РАН. Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре ARL X'TRA с излучением $CuK\alpha$ в области углов $2\theta = 2-90^\circ$, с использовани-

ем программы Siroquant для количественного анализа содержания основных минералов в образце.

Наиболее высокие содержания серпентина (70–80%) отмечаются в породах Светлоозерского и Аганозерского объектов, содержание хлорита в них не превышает 5%, тремолит практически отсутствует. Сопутствующие минералы – карбонаты магния, магнетит, сульфиды железа и никеля. Согласно данным дифференциально-термического анализа (Иванова и др., 1974), серпентин Аганозерского месторождения, входящий в состав как массивного серпентинита, так и кемистита, относится к лизардиту (что согласуется с данными А. Ф. Горошко), Светлоозерского – к антигориту. Серпентиниты участков Хаутаваара, Таловейс и Вожемского, относящиеся к эффузивной фации ультрамафитов, содержат от 16 до 50% серпентина. Сопутствующие минералы – хлорит, тремолит, карбонаты. Рудные минералы представлены, главным образом, магнетитом, а также сульфидами железа и никеля.

Особенности минерального и химического состава обуславливают ограничения на использование серпентинитов эффузивной фации ультрамафитов в

Таблица 2

Химический состав оливинитов Северной Карелии (Лавров, 1979), масс. %

Оксиды	Невгозерский массив	Массив Ортсаьярви	Тикшеозерский массив	Каменноозерский массив
SiO_2	35,01–38,24	36,36–38,85	35,67–38,08	35,32–35,4
TiO_2	0,06–0,2	0,12–0,31	0–0,16	0,15–0,16
Al_2O_3	0,23–3,33	2,78–3,69	0,29–1,18	1,02–1,39
Fe_2O_3	2,86–7,42	4,55–6,79	4,87–7,11	5,82–6,08
FeO	4,67–7,85	4,74–5,91	7,13–7,64	4,69–5,78
MnO	0,11–0,18	0,15–0,19	0,16	0,1–0,12
MgO	38,24–45,46	34,27–42,51	39,29–41,74	40,68–40,95
CaO	до 1,38	0–2,58	0–0,12	0–0,52
Na_2O	до 0,08	0,04–0,11	0,05–0,2	0,11–0,14
K_2O	до 0,05	0,03–0,07	До 0,05	0–0,07
ппп	5,9–10,72	4,11–8,42	6,75–7,77	9,63–10,42
NiO	0,16–0,38	0,24–0,32	0,14–0,32	0,14–0,17
CoO	0,019–0,024	0,02	0,016–0,044	0,02
V_2O_5	0,01–0,037	0,03–0,05	0,016–0,023	сл.
P_2O_5	0–0,29	0,03–0,07	до 0,17	сл.
Cr_2O_3	0,24–0,75	0,71–1,27	0,38–0,47	0,74–0,96

Таблица 3

Химический состав серпентинитов, масс. %

Оксиды	Месторождения, участки						
	Аганозеро, кемистит (среднее по 40 пробам) ¹	Аганозеро, серпентинит (среднее по 16 пробам) ¹	Светлоозеро, серпентинит (средний состав по 30 пробам) ²	Светлоозеро, серпентинит (скв. 8, гл. 51,8–68,6) ³	Хаутаваара, серпентинит (по 5 пробам) ³	Вожемский участок, серпентинит ³	Таловейс, серпентинит ³
SiO_2	32,59	34,06	32,85	35,52	41,66–44,9	38,28	41,57
TiO_2	0,02	0,01	0,05	0,08	0,2–0,28	0,22	0,35
Al_2O_3	0,1	0,51	0,78	0,21	4,52–6,12	5,11	5,92
Fe_2O_3	9,8	10,02	12,3	10,69	2,34–5,59	6,75	1,98
FeO	3,78	2,03		2,59	4,6–7,68	5,31	6,46
MnO	0,14	0,12	0,11	0,13	0,137–0,207	0,17	0,13
MgO	37,16	35,69	34,32	38,18	27,67–29,59	32,39	28,35
CaO	0,24	0,5	0,64		3,68–5,81	1,24	4,17
Na_2O	0,03	0,03		0,01	0,04–0,13	0,03	0,06
K_2O	0,02	0,02		<0,01	0,01–0,04	0,02	<0,001
H_2O			0,21	0,24–0,77	0,26	0,2	
ппп	15,03	17	18,41	11,24	6,55–8,17	9,91	9,68

Примечание. ¹ – по: Горошко, 1998; ² – по: Фролов, Фурман, 2003; ³ – химические анализы выполнены в аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН.

целом ряде технологий (получение магнезия, огнеупоров, металлургии и др.). Серпентиниты Светлоозерского и Аганозерского месторождений по содержанию MgO, CaO, SiO₂, Al₂O₃ отвечают требованиям к сырью для огнеупоров, электрокерамики, жаростойких цементов, для металлургии, однако содержат повышенное количество оксидов железа, поэтому применение этих пород в данных направлениях связано с необходимостью получения маложелезистых концентратов. На возможность получения из серпентинитов маложелезистых концентратов оказывает влияние размер и характер распределения зерен магнетита. В породах Светлоозерского участка зерна магнетита имеют размер от 0,01 до 0,4 мм, при этом преобладают наиболее крупные зерна. Магнетит располагается, главным образом, по границам серпентинитовых агрегатов. Зерна магнетита в серпентините Аганозера имеют размеры от 0,01 до 0,2 мм, расположены как между агрегатами серпентина, так и внутри них, часто в виде микровключений. Исследования по обогащению серпентинитов Светлоозерского и Аганозерского объектов, проведенные в Институте геологии (Каменева и др., 2006), показали, что вследствие присутствия в зернах серпентина микровключений магнетита, а также вхождения железа в кристаллическую решетку серпентина (до 6%, по данным электронной микроскопии), из Аганозерского серпентинита и кемистита маложелезистый концентрат получить невозможно. Из пробы Светлоозерского серпентинита (С-8) методом магнитной сепарации получен концентрат, содержащий 3,75% оксидов железа.

С использованием серпентинового концентрата Светлоозерского месторождения разработан состав и получены образцы кордиеритовой керамики с электроизолирующими свойствами и низким коэффициентом термического расширения. Основные характеристики керамики находятся в пределах требований к пористым кордиеритовым материалам (Масленникова и др., 1974): диэлектрическая проницаемость – 2,97; удельное электросопротивление – 8,1; диэлектрические потери – 0,04; плотность – 2,08 г/см³, во-

допоглощение – 12%; ТКЛР – $1,1 \times 10^{-6}$ 1/°С. Необогащенный кемистит Аганозера применим для получения термостойкой кордиеритовой керамики. Получены образцы керамики со следующими свойствами: плотность – 1,89–2,1 г/см³, пористость открытая – 11,7–21,1%, термостойкость – 1000 °С, ТКЛР – $(2,3–2,6) \times 10^{-6}$ 1/°С.

По химическому составу серпентиниты Светлоозерского и Аганозерского месторождений пригодны для использования в качестве биологической защиты ядерных реакторов. Предварительные исследования серпентинитов Хаутаваары указывают на перспективность их применения для сварочного дела.

Тальксодержащие породы

Тальксодержащие породы Карелии широко изучены как сырьевой материал многоцелевого назначения. Исследована возможность применения талькового камня в качестве теплозащитных блоков для изготовления каминов и предметов бытового назначения и мелких фракций для изготовления футеровочных материалов, наполнителей в композиционных материалах и др. (Соколов, 1995).

В табл. 4 приведены химические составы проб талькового камня и сопутствующих хлорит-тремолитовых пород. Породы отличаются по содержанию оксидов магнезия, кальция и железа. Главными породообразующими минералами являются тальк, хлорит, карбонаты, тремолит. Карбонатные минералы представлены, главным образом, доломитом, кроме того, в незначительном количестве в некоторых пробах присутствует брейнерит и кальцит. Рудные минералы: магнетит, ильменит. В пробах талькового камня содержание талька – до 55% и карбонатов – до 20%. В сопутствующих породах хлорит-тремолитового состава преимущественно – до 70% – тремолит и около 28% – хлорит, 2% – рудные минералы.

Мелкие фракции пород, образующиеся при добыче блоков, могут представлять интерес как корректирующая добавка в массу керамической плитки. С этой целью нами было изучено влияние основных

Таблица 4

Химические составы проб талькового камня и сопутствующих пород, масс. %

Окси-ды	Турган-Койван-Аллуста, тальковый камень (хлорит-тальк-карбонатные) ¹	Сопутствующие породы		Костомукшское, проба из залежи в желез. карьере (хлорит-тальк-карбонат-тремолитовые) ¹	«Озерки-1», тальковый камень ²
		Калиево-Муренанваара, тремолит-хлоритовые ¹	Озерки-1 OZ-010 (гл. 37,2 м), хлорит-тремолитовые ²		
SiO ₂	36,40	50,38	39,06	40,01	39,43–44,76
TiO ₂	0,22	0,16	0,55	0,36	0,25–0,39
Al ₂ O ₃	4,59	4,89	8,69	6,07	4,37–7
Fe ₂ O ₃	6,82	1,77	5,25	0,69	1,82–2,45
FeO	3,76	7,63	9,34	8,26	5,63–7,18
MnO	0,20	0,33	0,14	0,14	0,108–0,137
MgO	26,57	21,57	24,5	26,2	26,4–28,16
CaO	5,63	9,63	4,39	4,77	3,38–6,37
Na ₂ O	0,02	0,11	0,18	0,02	0,02–0,05
K ₂ O	-	0,02	0,01	0,07	< 0,01
H ₂ O	0,02	0,21	0,49	0,08	0,02–0,32
ппп	15,4	2,84	7,50	12,9	9,72–14,54
CO ₂	-	-	-	-	4,47–9,7

Примечание. ¹ – химические анализы выполнены в аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН; ² – по: Ильина и др., 2010.

разновидностей талькового камня и сопутствующих хлорит-тремолитовых разностей на свойства керамической плитки с использованием проб, отобранных на участке «Озерки-1». По основным свойствам (водопоглощению, усадке, прочности) керамика с наполнителями из талькового камня и тремолит-хлоритовых пород соответствует требованиям ГОСТ на рядовой кирпич и облицовочную плитку. Установлено, что механическая прочность плиток повышается (при 900 °С до 28, а при 1100 °С до 42 МПа) за счет разложения при обжиге основных минералов и обогащения аморфной фазы катионами магния (Ильина и др., 2010). Керамическая плитка в 1,5 раза прочнее по сравнению с полученной ранее с использованием добавок полевошпатового сырья (23–31 МПа) (Ильина, 2010).

Разработаны составы теплоизоляционных материалов на основе мелких фракций талькосоудержащих пород, отобранных из линзообразной залежи в Костомукшском карьере, и связующих компонентов (портландцемент, жидкое стекло, глина). Полученные материалы имеют хорошие теплофизические свойства: коэффициент теплопроводности 0,2–0,55 Вт/(м К), морозостойкость более 35 циклов, термостойкость более 18 теплосмен. Мелкие фракции отходов, образующихся при получении блоков из талькового камня месторождения Турган-Койван-Аллушта, могут представлять интерес как корректирующая добавка в массу теплоизоляционной керамической плитки и кирпича, имеющих высокую прочность при изгибе (37–39 МПа).

Доломиты

Карбонатные породы Карелии, разнообразные по своему возрасту, минеральному и химическому составу, а также по физико-механическим свойствам, почти полностью относятся к осадочно-метаморфическим образованиям (Минерально-сырьевая база..., 2006). Химический состав доломитов приведен в табл. 5.

Минерально-сырьевая база доломитов первого класса государственного резерва представлена разведанным Райгубско-Пялозерским месторождением в Кондопожском районе. Балансовые запасы на 1 января 2000 г. категорий А + В + С₁ составляют 12 848 тыс. т, С₂ – 898 тыс. т, кроме того, целики категорий А + В + С₁ – 1050 тыс. т. Помимо этого, выявлены еще четыре месторождения (Пялозеро, Оленеостров-

ское, Кузарандовское, Виданское) и шесть проявлений доломитов. Содержание компонентов в доломитизированных известняках и доломитах изменяется (масс. %): СаО 18,8–30,36; MgO 10,88–35,0 (по месторождениям), СаО 28,16–31,47; MgO 16,25–28,8 (по рудопроявлениям).

Доломиты данных месторождений используются как облицовочный камень, а также для производства карбонатной извести (Виданское). К полезным ископаемым Кузарандовского месторождения относятся: чистый доломит (лишен примеси терригенного кварца, горизонтальнослоистый, мощность 50–60 м), красноцветный доломит (конгломератовидный, неслоистый, мощность 20 м). По химическому составу доломит удовлетворяет требованиям ГОСТ 5331-63 для производства строительной извести и ГОСТ 9179-59 для производства гидравлической извести. Доломиты участка Киви-Шурья (Пялозеро) по химическому составу отвечают требованиям к огнеупорному сырью 1 класса.

Пикритовые базальты

К высокомагнезиальным породам относятся пикритовые базальты суйсарской серии, имеющие широкое распространение в Кондопожском районе. В западном крыле Онежской структуры выделяются шесть участков их преимущественного распространения (рис.). Пикритовые базальты представляют собой породы с порфировидной структурой, содержащие 40–60% вкрапленников, заключенных в мелкозернистую основную массу, которая состоит из микролитов хлорита, плагиоклаза, пироксена, тремолита, лейкоксена. Вкрапленники представлены кристаллами авгита, измененного плагиоклаза, псевдоморфозами оливина, замещенного хлорит-гематит-кальцитовым агрегатом. В пределах каждого из исследованных участков наблюдаются площади распространения массивных и миндалекаменных разностей. Миндалекаменные разности содержат значительное количество миндалин (1–3 мм) изометрической или удлиненной формы, заполненных хлоритом, карбонатом, кварцем. В массивных разностях миндалины редки и имеют меньшие размеры, в основной массе содержится больше тремолита, а среди вкрапленников снижается количество плагиоклаза. Различия в минеральном составе массивных и миндалекаменных разностей отражаются на их химическом составе (табл. 6) (Лебедева, Светов, 1986).

Таблица 5

Составы доломитов месторождений Карелии (Минерально-сырьевая база..., 2006), масс. %

Месторождение, район	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	Нерастворимый остаток	ппп
Райгубско-Пялозерское, Кондопожский	5,8–3,06	0,47–1,16		28,95–29,92	20,56–22,25	–	–	1,61–6,23	43,60–45,99
Пялозеро, Кондопожский	0,4–28,9	0,32–2,33	0,24–1,93	21,05–30,56	19,48–21,7	0,03–0,077	0,02–0,075	–	–
Кузарандовское, Медвежьегорский	1,04–27,65	0–1,3	0–0,58	18,58–35,1	16,56–35	R ₂ O 0,04–1,25	–	–	–
Виданское, Пряжинский	1,94–32,96	0,1–4,5	0,08–1,46	19,0–29,7	15,06–23,0	0–0,15	–	3,5–32,0	31,0–46,70

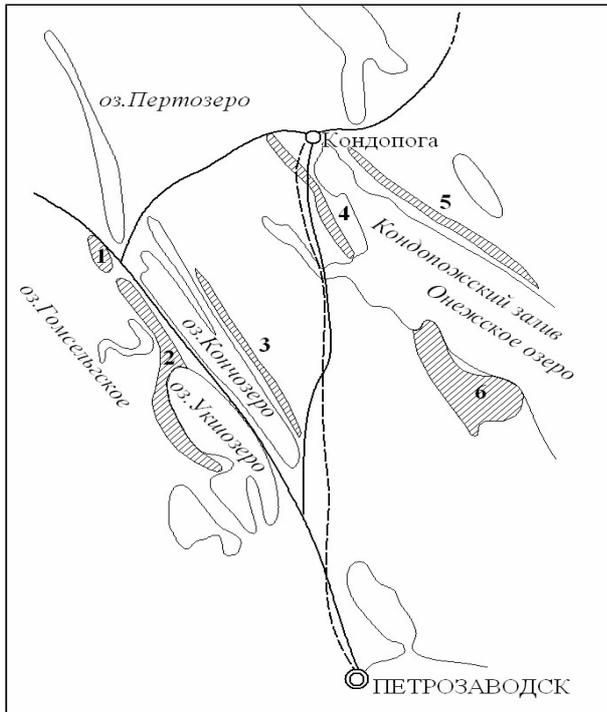


Схема размещения участков пикритовых базальтов в Кондопожском районе (по данным А. П. Светова):

1 – Линдаваара, 2 – Укшозерский, 3 – Кончезерский, 4 – Тернавлоцкий, 5 – Ровкозерский, 6 – Линьгорский

Таблица 6

Химические составы пикритовых базальтов (Лебедева, Светов, 1986), масс. %

Оксиды	Массивные пикритовые базальты (пределы колебаний состава)	Миндалекаменные пикритовые базальты (пределы колебаний состава)
SiO ₂	42–45	42–47
TiO ₂	1,3	1–1,7
Al ₂ O ₃	8–10	9–11
Fe ₂ O ₃	10–12	10–13
MgO	19–21	14–18
CaO	7–8	8–10
Na ₂ O	0,5–1,5	0,5–1,5
K ₂ O	0,5–1,5	0,5–1,5

Массивные разности имеют более низкий модуль кислотности [$M_k = (SiO_2 + Al_2O_3)/(CaO + MgO)$], $M_k = 1,7–2,0$ и более высокое содержание MgO (19–21%). На катионной диаграмме Mg – Ca – (Fe²⁺ + Fe³⁺) их составы расположены в оливиновом поле, что обуславливает повышенную кристаллизационную способность расплава при выработке минерального волокна. Очевидно, при их использовании в качестве минераловатного сырья будут необходимы добавки, снижающие магнезиальность. Составы миндалека-

менных разностей имеют $M_k = 2–2,5$, на катионной диаграмме расположены в пироксеновом поле и на границе с оливиновым. Как показали испытания, они могут служить однокомпонентным сырьем для производства минеральной ваты высокого качества (Лебедева, Светов, 1986).

Выводы

Серпентиниты Аганозерского и Светлоозерского объектов являются наиболее перспективными для получения, без обогащения, термостойкой керамики, теплоизоляционных строительных материалов, сульфата никеля, оксида магния, высокодисперсного кремнезема, мелиорантов, материалов для биологической защиты ядерных реакторов. Обогащенные Светлоозерские серпентиниты, кроме того, могут быть пригодны для получения электроизоляционной керамики, огнеупоров, адсорбентов. Породы эффузивной фации ультрамафитов ряда объектов (Вожемское, Таловейс, Хаутаваара) имеют ограниченное применение вследствие недостаточно высокого содержания серпентина. Они могут быть использованы в качестве наполнителя строительной керамики, как сварочные материалы, а также для получения плавящихся фосфатно-магниевого удобрений и в качестве декоративного и облицовочного камня.

Оливиниты Северной Карелии (массивы Невгозерский, Ортсасьярви, Тикшеозерский и Каменноозерский) с количеством оливина 70–90% и дуниты Аганозерского блока после обогащения (удаления магнетита) представляют интерес в качестве сырья для производства магнезиальных огнеупоров.

Тальксодержащие породы и мелкие фракции отходов добычи блоков карбонат-хлорит-талькового состава Сегозера и Костомушской зеленокаменной структуры пригодны для получения теплоизоляционных и теплоаккумулирующих материалов для тепловых агрегатов. Породы хлорит-тремолитового состава являются перспективным сырьем для получения высокопрочной строительной керамики.

Бескварцевые доломиты Пялозерского и Райгубско-Пялозерского объектов могут использоваться для флюсования железорудных окатышей, в производстве огнеупорных материалов для металлургии, строительной извести. Окварцованные доломиты (Оленеостровское, Кузарандовское, Виданское месторождения и некоторые проявления) могут найти применение в производстве строительной извести и для известкования почв.

Пикритовые базальты могут служить однокомпонентным минеральным сырьем для производства минеральной ваты высокого качества.

ЛИТЕРАТУРА

Будников П. П., Балкевич В. Л. и др. Химическая технология керамики и огнеупоров. М., 1972. 551 с.

Горошко А. Ф. Новый геолого-промышленный тип месторождений комплексного никель-магнезиального сырья

в ультрамафитах Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 1. Петрозаводск, 1998. С. 24–35.

Иванова В. П., Касатов Б. К. и др. Термический анализ минералов и горных пород. Л., 1974. 399 с.

Ильина В. П., Лебедева Г. А. Использование отходов обогащения щелочных сиенитов Еletzозерского месторождения для изготовления керамических плиток // Стекло и керамика. 2010. № 7. С. 3–7.

Ильина В. П., Лебедева Г. А., Климовская Е. В., Инина И. С. Исследование талькового камня участка Озерки Костомукшской зеленокаменной структуры как сырья для строительной керамики // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы. Петрозаводск, 2010. С. 144–150.

Калинников В. Т., Гришин Н. Н., Белогузова О. А., Иванов В. А. Магнезиальносиликатные огнеупоры на основе вмещающих пород Сопчеозерского месторождения хромитов // Фундаментальные проблемы комплексного использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов: Материалы междунар. науч. конф. Апатиты, 2003. С. 100–102.

Каменева Е. Е., Лебедева Г. А., Озерова Г. П. и др. Перспективы использования минерального сырья Карелии для производства плавящихся фосфорно-магневых удобрений // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 2004. С. 163–170.

Каменева Е. Е., Лебедева Г. А., Соколов В. И., Фролов П. В. Исследование вещественного состава и технологических свойств серпентинитов Карелии // Современные методы минералого-геохимических исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения: Материалы годичного собрания Российского минералогического общества. СПб., 2006. С. 22–24.

Лавров М. М. Гипербазиты и расслоенные перидотит-габбро-норитовые интрузии докембрия Северной Карелии. Л., 1979. 136 с.

Лавров М. М., Голубев А. И., Трофимов Н. Н. Геохимия и рудоносность Бураковского расслоенного интрузива // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 2004а. С. 75–92.

Лавров М. М., Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Слюсарев В. Д. Геология и петрология Бураковского расслоенного интрузива // Отечественная геология. 2004б. № 2. С. 23–30.

Лебедева Г. А., Светов А. П. Пикритовые базальты – перспективный вид сырья для производства минеральной ваты // Комплексное и рациональное использование минерального сырья Карелии. Петрозаводск, 1986. С. 50–62.

Макаров В. Н. Минералогические критерии комплексной переработки рудовмещающих гипербазитов. Апатиты, 1989. 94 с.

Масленникова Г. Н., Харитонов Ф. Я., Костюков Н. С., Пирогов К. С. Технология электрокерамики. М., 1974. 224 с.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2: Неметаллические полезные ископаемые. Петрозаводск, 2006. 353 с.

Романович И. Ф. и др. Месторождения талька СССР. М., 1973. 224 с.

Серпентинит в защите атомных реакторов / Под ред. Ю. А. Егорова. М., 1973. С. 103–104.

Соколов В. И. Талько-хлоритовые сланцы Карелии и пути их комплексного использования. Петрозаводск, 1995. 128 с.

Фролов П. В., Фурман В. Н. Светлоозерское проявление руд железистого талька – эталонный объект комплексных месторождений зеленокаменных поясов Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 6. Петрозаводск, 2003. С. 58–66.

Щипцов В. В. Природные строительные материалы Республики Карелия // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы 2-й Междунар. науч. конф. Петрозаводск, 2005. С. 198–201.

Щипцов В. В., Бубнова Т. П., Гаранжа А. В. и др. Геолого-технологическая и экономическая оценка ресурсного потенциала карбонатитов Тикшеозерского массива (формация ультраосновных – щелочных пород и карбонатитов) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. Петрозаводск, 2007. С. 159–170.