

П. В. Фролов\*, В. И. Кевлич\*, В. П. Ильина\*, Т. В. Попова\*, О. С. Сибелев\*,  
А. И. Савицкий\*, И. В. Орлов\*\*

## МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНОГО СЫРЬЯ АГАНОЗЕРСКОГО КОМПЛЕКСНОГО ОБЪЕКТА

Аганозерско-Бураковский раннепротерозойский массив является типичным представителем ультрамафит-мафитовых расслоенных интрузий, распространенных в восточной части Фенноскандинавского щита (Металлогения Карелии, 1999). Размер интрузива  $50 \times 13-16$  км, глубина залегания подошвы до 3,5–7 км, форма лополитообразная (рис. 1). Характерны высокая степень дифференцированности и присутствие стратиформных хромитовых залежей. Выделяется пять зон пород расслоенной серии (сверху вниз): магнетитовых габбро-диоритов, габбровая, габброноритовая, переходная, ультрамафитовая (Лавров и др., 2004).

Ультрамафиты Аганозерского блока Аганозерско-Бураковской расслоенной интрузии являются вмещающими породами для хромовых руд и платиновой минерализации. Они в различной степени подверглись серпентинизации. Серпентиниты залегают в основании хромитового горизонта на глубину до 900 м. Верхний горизонт серпентинитов (20–70 м) представлен массивными породами, более глубокие горизонты – рыхлыми разностями, так называемыми кемиститами (разуплотненными породами гидоталькит-серпентинового состава) (Минерально-сырьевая база..., 2006).

В пределах Аганозерского блока, наряду с месторождением хромовых руд, полезным ископаемым могут являться и серпентинсодержащие породы ультрамафитовой зоны дунитовой и перидотитовой подзон, залегающие в центральной части Аганозерского блока. По данным химических анализов серпентинсодержащих пород (табл. 1), кемиститы и массивные серпентиниты Аганозера богаты магнием (36–38%) и содержат незначительное количество примесей  $Al_2O_3$  (0,1–0,5%) и CaO (0,24–0,5%) (исключение составляют пробы А-307 и А-308 с более высоким содержанием CaO). При обогащении хромовых руд гравитационными и магнитными метода-

ми серпентин будет переходить в хвосты обогащения, накапливаясь в отвалах. В то же время природные серпентиниты, а также продукты их переработки могут использоваться в качестве сырья для получения оксида магния, высокодисперсного оксида кремния, азотно-магниевых удобрений, магниевых вяжущих, адсорбентов, в керамической промышленности и др. (Макаров, 1989). Поэтому, с учетом комплексной переработки хромовых руд, нами было выполнено минералого-технологическое изучение серпентинитов.

Таблица 1

Химический состав ультрамафитов Аганозера

Оксиды	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	32,59–32,91	34,06	50,30	40,00	32,44	33,39
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,01	0,26	0,14	0,05	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1–0,43	0,51	1,50	1,42	1,28	0,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,21–9,8	10,02	10,70	10,70	4,88	6,31
FeO	2,09–3,78	2,03	3,90	3,90	1,72	3,51
MnO	0,12–0,14	0,12	0,17	0,22	0,03	0,13
MgO	37,16–37,83	35,69	21,80	28,60	37,49	40,42
CaO	0,24–0,47	0,5	15,30	4,19	<0,01	<0,01
Na <sub>2</sub> O	0,03–0,33	0,03	0,37	0,27	0,12	0,02
K <sub>2</sub> O	0,02–0,03	0,02	<0,01	0,15	0,10	<0,01
H <sub>2</sub> O			0,47	–	3,41	1,18
ппп	15,03–17,75	17	2,51	9,77	18,02	15,69

Примечание. 1 – кемистит, по данным 60 анализов (Горошко, 1998); 2 – серпентинит (среднее по 16 пробам); 3 – проба А-308, пироксениты; 4 – проба А-307, перидотиты; 5 – кемистит, проба, исследованная в Институте геологии КарНЦ РАН; 6 – проба А-скв. 323, массивный серпентинит.

В пределах северной части Аганозерского объекта была отобрана лабораторно-технологическая проба серпентинитов (образовавшихся по массивным перидотитам верхнего горизонта) из керна скважины № 323, весом 7,5 кг. Проба состоит на 93,24% из серпентина, являющегося главным порообразующим минералом, и аксессуарных минералов: хлорита 3,90%, магнетита 2,64%, хромита 0,22%, единичных зерен биотита и карбоната. Преобладает серпентин зеленого, желто-зеленого, бурого, красновато-бурого цветов, встречаются голубоватые и белые зерна.

\* Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск.

\*\* ООО «НИЛ «Триботех», Санкт-Петербург.



свойствами твердости (2–3 по шкале Мооса) и природной хрупкостью серпентинитов. При этом серпентин в пробе после измельчения находится в основном в виде свободных зерен, которые представлены осколками, обломками, округлыми зёрнами, и вместе с тем микроскопически в зёрнах наблюдаются тонкодисперсные включения рудных минералов (хромит-магнетит), гнезд, цепочек вкраплений и прожилков магнетита.

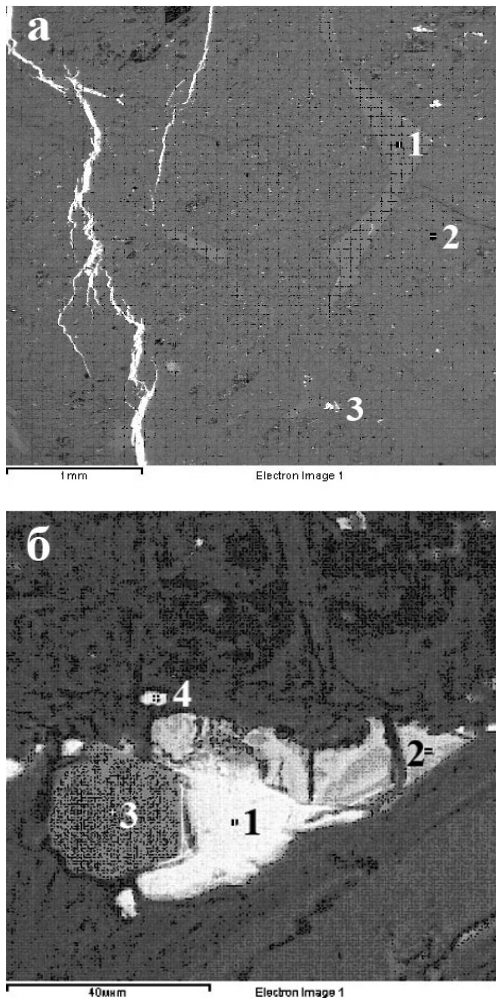


Рис. 2. Электронное изображение микроструктуры серпентинитов Аганозера (проба № 323):

а: 1 – хлорит, 2 – серпентин, 3 – магнетит; б: 1 – миллерит, 2 – магнетит, 3 – апатит, 4 – пентландит

Контрастность свойства плотности основного полезного минерала – серпентина ( $2,6\text{--}2,7 \text{ г/см}^3$ ) – и рудных – хромита и магнетита (соответственно  $4,3\text{--}4,7 \text{ г/см}^3$  и  $4,9\text{--}5,2 \text{ г/см}^3$ ) – предопределила выбор в первой стадии гравитационных методов. Первичное обогащение пробы с содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  6,31% и FeO 6,71% осуществлялось на концентрационном столе. Это позволило получить тяжелый железосодержащий продукт, включающий магнетит, хромит и сростки серпентина с магнетитом (содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 21,49% и FeO – 9,02%), и концентрат, состоящий в

основном из серпентина, частично с тонкодисперсными включениями магнетита и хромита, а также шламовый продукт. Концентрат серпентина (немагнитная фракция) направлялся на контрольную мокрую магнитную сепарацию в слабом магнитном поле, где извлекался магнетит, и сухую магнитную сепарацию в сильном магнитном поле на индукционно-роликовом сепараторе 138Т-СЭМ с двумя перечистками (рис. 3). В электромагнитную фракцию при этом извлекались отдельные зерна хромита, сростки серпентина с включениями сильномагнитных минералов, содержащие  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  20,66% и FeO 8,12%. В немагнитных фракциях получены концентраты серпентина.



Рис. 3. Схема обогащения пробы № 323 серпентинита Аганозерского объекта

Для повышения извлечения серпентина, с учетом низкой твердости и хрупкости и, следовательно, повышенного образования шламов, с чем связаны потери полезного минерала (серпентина), шламы концентрационного стола улавливались, сгущались и подвергались обогащению магнитной сепарацией в слабом и сильном поле. В результате в немагнитном продукте получен концентрат серпентина. Анализ продуктов обогащения серпентина свидетельствует о том, что уже на первой стадии обогащения на концентрационном столе снижается доля железосодержащих минералов в основном концентрате серпентина. Последующая магнитная сепарация основного и шламового концентратов в слабом и сильном поле позволяет существенно снизить содержание в концентрате FeO – до 3,02% и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – до 4,16% за счет удаления железосодержащих минералов, которые в основном переходят в тяжелый и магнитный продукты, и повысить извлечение серпентина до 86,7% в концентрате. Вместе с тем получить кондиционный концентрат серпентина при крупности измельчения 0,5 мм, по данным минералогического и химического анализа, не удастся, что обусловлено тонкодисперсными включениями магнетита и хромита в серпентине.

В связи с этим выяснение возможного предела обогащения серпентинитов проводилось на мономинеральных фракциях серпентина. Выделение мономинеральных фракций включало: измельчение и классификацию серпентинитов до размера зерен серпентина 0,063 мм с последующим обесшламливанием измельченного продукта по классу 10–15 мкм, применением гравитационных, магнитных методов, ультразвуковой обработки и разделения в тяжелых жидкостях, в центрифуге.

Согласно данным анализа мономинеральных фракций серпентина, содержание оксидов железа составляет FeO – 1,31%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3,23%. Неизвлекаемая часть FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> связана с микровключениями магнетита в зернах серпентина (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Показатели обогащения серпентинитов Аганозера**

Крупность дробления, мм	Содержание оксидов в серпентине, мас. %		Извлечение серпентина, %
	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
–0,5	3,02	4,16	86,7
–0,063	1,31	3,23	Мономинеральная фракция

Варьирование физических свойств серпентина связано с генетическими особенностями этого минерала, а именно – с метаморфическим преобразованием оливинсодержащих пород (оливин → серпентин + магнетит), которое сопровождается образованием в серпентине *неизвлекаемого* магнетита в виде весьма тонкодисперсных (точечных) включений. Хаотичность распределения включений рудных минералов в серпентине является фактором непредсказуемости их раскрытия и при более тонком измельчении серпентинитов – до 0,063 мм. В результате этого, а также вхождения железа в кристаллическую решетку серпентина (до 6%, по аналитическим данным) испытания по выбранной технологии обогащения не позволили получить кондиционные концентраты серпентина, удовлетворяющие требованиям ряда отраслей промышленности.

В связи с этим дальнейшие технологические исследования серпентинитов данного генезиса с целью получения кондиционных концентратов возможны в направлении использования комплекса традиционных и нетрадиционных методов обогащения.

Высокое содержание оксидов железа в серпентинитах Аганозера ограничивает возможности их использования. Однако, по данным патентов и публикаций, требования к химическому составу серпентинитов, применяемых для изготовления разных видов изделий и материалов, различны (см. табл. 3). Так, например, большое количество железа в серпентините, используемом в качестве заполнителя бетона, не является недостатком, а наоборот, повышает защитные свойства бетона, применяемого в качестве биологической защиты атомных реакторов (Серпентинит..., 1973). Серпентинит, использующийся в качестве наполнителя в производстве керамики, кровель-

ных и гидроизоляционных материалов, огнеупорных порошков, жаростойких цементов, минеральных удобрений, для очистки воды и сернистых газов, должен содержать MgO не менее 35%, CaO не более 2%, SiO<sub>2</sub> не менее 30%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не более 6%, ппп – не более 18%. Полученный концентрат серпентина по содержанию оксидов магния, кальция, кремния, железа удовлетворяет требованиям для получения термостойкой кордиеритовой керамики.

Т а б л и ц а 3

**Требования к химическому составу серпентинитов для различных областей использования, мас. %**

Область применения	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ппп	H <sub>2</sub> O
Форстеритовые огнеупоры	1,5–2	2–3			Не более 6 3,5		
Кордиеритовая электро-керамика	0,5–0,8				Не более 6 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	

Концентрат, полученный из Аганозерского серпентинита (табл. 2), крупностью –0,063 мм был использован для разработки состава шихты кордиеритовой керамики. Шихта готовилась по общепринятой в керамике технологии. Содержание серпентина в шихте составляло 30–40% по массе. Обжиг образцов осуществляли в лабораторной печи при температуре 1200–1250 °С. Использование в шихте природных компонентов, в том числе серпентинита Аганозера, позволило получить керамику с содержанием кордиерита 50–60%, синтез которого начинает осуществляться при 1150 °С без введения в состав шихты предварительно синтезированного кордиерита, и обеспечить, по сравнению с известным составом, снижение линейной усадки керамики при температуре обжига 1200–1250 °С в 2,6–8 раз. Свойства полученной керамики приведены в табл. 4. Снижение линейной усадки позволяет получать кордиеритовые керамические изделия сложной геометрической формы, что способствует расширению области их практического использования.

Технологичность и экономическая эффективность шихты обусловлены снижением энергозатрат и упрощением технологического процесса за счет исключения механоактивации исходного сырья и предварительного синтеза кордиеритовой добавки. Кроме того, практическое использование шихты позволит расширить сырьевую базу для получения кордиеритовой керамики.

Т а б л и ц а 4

**Свойства кордиеритовой керамики**

Со- став № п/п	Свойства кордиеритовой керамики					
	Линейная усадка, %		Термостой- кость при 1000 °С, теп- лосмены	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Порис- тость откры- тая, %	ТКЛР, 10 <sup>-6</sup> 1/°С (20–800°С)
	1200 °С	1250 °С				
1	1,1	1,2	>5	2,17	8,8	2,44
2	2	2,4	>5	2,24	5,1	2,46
3	2,2	3,5	>5	2,26	11,2	2,59

По содержанию конституционной воды (входящей в состав ппп: 15,22–15,69%) серпентиниты Аганозера пригодны для использования в качестве биологической защиты ядерных реакторов (не менее 9% H<sub>2</sub>O), при этом, как указывалось выше, высокие содержания оксидов железа в них являются положительным фактором.

В период проведения геологоразведочных работ на Аганозерском месторождении выполнены технологические исследования кемиститов как сырья для получения магния и никеля. Среднее содержание NiO в породах составляет 0,38%. Оксид никеля содержится, главным образом, в серпентине, но присутствует также и в других минералах. По содержанию MgO кемиститы приближаются к магнезиту (36–42% и 45–50% соответственно) и являются ценным сырьем для получения высокочистого MgO для металлургии, а также сульфата никеля. Технологическая схема переработки кемиститовых комплексных никель-магнезиальных руд Аганозерского месторождения включает выщелачивание руды, очистку раствора от железа, сорбцию никеля на ионитах, осаждение сульфата магния, его термическое разложение до оксида магния. Товарными продуктами являются оксид магния (MgO 96–98%) и водный сульфат никеля (Ni 21–27%). Геолого-экономические расчеты предприятия по производству оксида магния и никеля ориентировались на производительность карьера по руде 2440 т/год. Выход ценных продуктов: 96–250 кг/т MgO и 11,5 кг/т сульфата никеля (Горошко, 1998).

В настоящее время продолжают работы по изучению возможностей использования серпентинизированных ультрамафитов Карелии в триботехнике. Применение триботехнических смесей позволяет существенно увеличить срок службы обрабатываемых механизмов. Происходит частичное восстановление изношенных поверхностей трущихся деталей («безразборный» ремонт), кроме того, механизмы относительно длительное время смогут работать в условиях «масляного голодания» в аварийных ситуациях (например, двигатель внутреннего сгорания при утечке масла). Предварительные испытания триботехнических смесей на основе серпентинизированных перидотитов (проба А-307) и пироксенитов (проба А-308) Аганозера, серпентинитов Маткалахтинской структуры и др. показали, что добавка в масло нескольких грамм порошка измельченной до 40 мкм смеси в несколько раз снижает коэффициент трения на поверх-

ностях соприкосновения. Кроме того, в местах повышенного износа создается устойчивая керамическая корка, впитывающая и удерживающая масло. Определенные составы триботехнических смесей, созданных на основе карельских серпентинитов, были апробированы на автомобильных двигателях внутреннего сгорания (ООО «НПТК «СУПРОТЕК», ООО «НИЛ «Триботех», Санкт-Петербург). Добавка серпентинового концентрата, полученного из пород Аганозера, может дополнительно повысить качество триботехнических смесей. Достаточно крупные зерна магнетита и хромшпинелидов отрицательно влияют на износ деталей в силу своей высокой твердости и абразивности, в то же время микрокристаллические вроски магнетита в чешуйки серпентина усиливают его способность к аутогезии магнитного происхождения (Вашенок и др., 2002).

### Оценка радиационно-гигиенической обстановки объекта

В целом радиационно-гигиеническая обстановка в пределах площади Бураковско-Аганозерского массива может быть оценена по карте радиационной обстановки района масштаба 1 : 200 000, составленной по результатам многолетних работ ГПП «Невскгеология» (Объяснительная записка..., 1992). Мощность дозы гамма-излучения в пределах массива по аэрогеофизическим данным составляет менее 6 мкР/ч, и это свидетельствует о том, что в массиве преимущественно развиты горные породы с низким фоновым содержанием радиоактивных элементов (и, соответственно, с пониженной радиоактивностью). Однако опыт работ ГПП «Невскгеология» в Карело-Кольском регионе показывает, что при наземной гамма-съемке возможно обнаружение участков с гамма-фоном местности 30–35 мкР/ч и более. В обрамлении Бураковского блока также имеют место единичные точки с повышенными содержаниями радиоактивности (Ганин, 1989). Дополнительно работами ГПП «Невскгеология» установлено, что в пределах водосборных площадей севернее оз. Аганозера отмечаются аномально радиоактивные источники вторичной аккумуляции урана в торфяниках и почвах. Локальные аномалии достигают 100–300 мкР/ч.

Наибольшие значения радиоактивности следует, вероятно, ожидать в породах дайковых комплексов. Дайки перидотитов, дунитов кополозерского субвулканического комплекса завершают позднеархейский тектономагматический цикл, габбро-нориты, габбро-долериты авдеевского комплекса и лейкограниты рагнозерского комплекса завершают раннепротерозойскую тектоно-магматическую фазу формирования интрузивных образований (Гриневич, 2000).

Нами проведено радиационно-гигиеническое изучение отдельных проб ультрамафитов Аганозерского объекта, нескольких проб хромовых руд главного хромитового горизонта.

Для измерений были отобраны представительные пробы для определения лабораторным гамма-спектрометрическим методом удельной эффективной активности естественных радионуклидов (ЕРН) в соответствии с требованиями ГОСТ 30108-94 (ГОСТ..., 1995). Настоящий стандарт распространяется на неорганические сыпучие материалы (щебень, гравий, песок, цемент, гипс и др.) и строительные изделия, а также отходы промышленного производства (Новиков, 1989; Беляев и др., 2003).

Удельная эффективная активность ( $A_{эфф}$ ) – суммарная удельная активность естественных радионуклидов в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на организм человека по формуле:  $A_{эфф} = A_{Ra} + 1,30A_{Th} + 0,09A_K$ , где  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$ ,  $A_K$  – удельные активности радия-226, тория-232, калия-40 соответственно, Бк/кг. За результат

определения удельной эффективной активности естественных радионуклидов (ЕРН) в контролируемом материале при установлении класса принимается значение, определяемое по формуле:  $A_{эфф м} = A_{эфф} + \Delta$ , где  $\Delta$  – абсолютная погрешность определения значений  $A_{эфф}$ .

Определение удельной активности естественных радионуклидов (радия-226, тория-232 и калия-40) выполнено гамма-спектрометрическим методом на аттестованном гамма-спектрометре со сцинтилляционным детектором БДЭГ2СП-1 № 2-286 и программным обеспечением «СПЕКТР-1С». (Свидетельство о метрологической поверке № 42210.1Б324 выдано метрологическим центром «ВНИИФТРИ» Госстандарта России.) Результаты измерений удельных активностей ЕРН и расчетные значения  $A_{эфф м}$  представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Гамма-спектрометрические определения удельных активностей естественных радионуклидов (урана (радия), тория и калия (калия-40)) в пробах с Аганозерской площади**

№ п/п	Полевое название породы	№ пробы	Активность радионуклидов, Бк/кг			$A_{эфф м}$ Бк/кг	МЭД, мкР/ч
			Радий $A_{Ra}$	Торий $A_{Th}$	Калий $A_K$		
Участок «Аганозеро»							
1	Хромовая руда из ГХГ	A1/Cr	2	2	10	13	–
2	Хромовая руда из ГХГ	A2/Cr	3	3	8	13	–
3	Хромовая руда из ГХГ	A3/Cr	2	2	8	10	–
4	Перидотит	A/307	3	6	10	18	–
5	Пироксенит	A/308	2	3	11	13	–
6	Пойкилит	A/309	2	3	15	15	–
Участок «Кукручей»							
7	Габбро	B-1	3	4	162	30	3,5–4,8
8	Габбро	B-2	2	6	176	29	3,5–4,0
9	Кварц-микроклиновый гранит	B-3	2	2	254	31	4,0–5,0
10	Габбро	B-4	2	4	292	39	4,5
11	Диорит	A-9	3	6	358	53	6,0
12	Диорит	A-10	2	4	220	41	6,0
13	Кварц-микроклиновый гранит	A-11	38	95	1076	278	10,0–18,0
14	Диорит	A-12	3	7	278	42	5,5–6,5
15	Габбро	L-1	3	4	101	25	4,5
16	Кварц-микроклиновый гранит, на контакте с габбро	L-2	2	2	415	49	4,0–5,5
17	Кварц-микроклиновый гранит	L-3	3	4	443	53	5,0
18	Габбро	L-3-1	3	3	40	18	3,5–4,0
19	Габбро	L-3-2	2	8	90	29	3,5–4,0
20	Гранодиорит	315	5	4	176	32	6,0

Примечание. МЭД – мощность экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения; ГХГ – главный хромитовый горизонт.

С целью общей оценки радиационно-гигиенической обстановки Аганозерского объекта дополнительно были проанализированы пробы пород из обнажений р. Кукручей, несколько южнее площади Аганозерского блока (площадь Шалозерского блока), ввиду отсутствия обнажений вмещающих гранитоидов и габброидов в пределах непосредственно Аганозерского блока. Габброиды и гранитоиды Кукручья дают низкие, «фоновые» значения радиоактивности (см. табл. 5), за исключением дайки микроклиновых гранитов (мощностью более 2 м) в гранодиоритах, что подтверждается и полевыми замерами прибором СРП-68-01 (проба А-11).

Предварительно по Аганозерскому объекту радиационно-гигиеническую обстановку в целом можно оценить по классу 1 (удельная эффективная

активность  $\leq 370$  Бк/кг, мощность экспозиционной дозы  $\leq 20$  мкР/ч).

### Выводы

Серпентиниты Аганозерского месторождения по содержанию MgO, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 оказывают влияние размер и характер распределения зерен магнетита.

Исследования по обогащению серпентинитов Аганозерского объекта, проведенные в Институте геологии КарНЦ РАН, показали, что полученный из серпентинита концентрат содержит 5,21% оксидов железа вследствие присутствия в зернах серпентина микровключений магнетита, а также вхождения железа в кристаллическую решетку серпентина. Маложелезистый концентрат из данной пробы серпентинита получить не удалось. При этом серпентиниты Аганозера пригодны для использования в качестве биологической защиты ядерных реакторов.

Разработан состав шихты для получения кордиеритовой керамики, включающей серпентинит Аганозера (30–40%). Данная керамика имеет низкую линейную усадку (1,1–2,2%) при температуре обжига 1200–

1250 °С. Снижение линейной усадки позволяет получать кордиеритовые керамические изделия сложной геометрической формы, что способствует расширению области их практического использования.

Предварительные испытания проб серпентинизированных ультрамафитов Аганозера на машине трения и частичное апробирование результатов испытаний на реальных механизмах позволяют сделать вывод о перспективности использования материала для приготовления высокоэффективных триботехнических смесей.

По радиационно-гигиенической обстановке Аганозерский объект предварительно можно отнести к классу 1. Для окончательной оценки необходимо проведение специальных работ.

## ЛИТЕРАТУРА

Беляев А. М., Иванюкович Г. А., Киреленко Д., Хайкович И. М. Радиоэкология. СПб., 2003.

Ващенко А. В., Казарезов В. В., Таловина И. В., Костенко В. В. Серпентиниты в триботехнике // Аналитические идеи, методы, технологии. Вып. 1. СПб., 2002. С. 43–50.

Ганин В. А. Геологическое строение и полезные ископаемые Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления. Отчет о результатах ГГС масштаба 1 : 50 000 и общих поисков никеля в пределах Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления // Фонды КГЭ. Петрозаводск, 1989.

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.

ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. М., 1995.

Гриневич Н. Г. Отчет по теме: «Разработка петрологической модели расслоенного Бураковско-Аганозерского массива ультраосновных-основных пород на основе обобщения ГГК-200, ГГК-50» // Фонды КГЭ. Петрозаводск, 2000.

Лавров М. М., Голубев А. И., Трофимов Н. Н. Геохимия и рудоносность Бураковского расслоенного интрузива // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 2004. С. 75–91.

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

Металлогения Карелии / Отв. ред. С. И. Рыбаков, А. И. Голубев. Петрозаводск, 1999. 340 с.

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

Новиков Г. Ф. Радиометрическая разведка. Л., 1989.

Объяснительная записка к карте обстановки Пудожского района Республики Карелия ГПП «Невскгеология». ВСЕГЕИ, 1992.

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

Щитцов В. В. Технологическая минералогия при оценке промышленных минералов Карелии // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Петрозаводск, 2006. С. 26–33.