

Ю. К. КАЛИНИН, Е. Ф. ДЮККИЕВ

## СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШУНГИТОВ КАРЕЛИИ

К шунгитовым относится большая группа докембрийских углеродсодержащих горных пород, в достаточных для практического применения объемах известная в настоящее время только в Карельской АССР. Шунгиты имеют разнообразный минеральный состав, в том числе по содержанию углерода (от долей процента до 75% и более), что придает им ряд специфических свойств, не присущих каменным углям или графитам. Изучение такого объекта представляет как практический, так и научный интерес.

Данная работа — результат многолетних комплексных исследований, которые дают возможность рассматривать шунгитовые породы как перспективный источник сырья для металлургической и химической промышленности, производства строительных материалов и т. д.

### Основные свойства шунгитовых пород

Формы шунгитовых пород, их минеральный и вещественный состав, агрегатное и структурное состояние углерода (шунгитового вещества) и другие признаки чрезвычайно разнообразны. В зависимости от содержания углерода они подразделяются на пять разновидностей [1—3].

К I разновидности относится высокоуглеродистый шунгит (до 98% углерода), обычно называемый миграционным, жильным. Он представляет собой углерод нестратифицированных образований и используется в исследованиях как эталон шунгитового вещества. Представляется целесообразным, сохраняя этот, уже ставший привычным термин, расширить его содержание, включив в названную группу, помимо углерода нестратифицированных образований, также концентрированный углерод стратифицированных образований. Тогда сюда должны быть отнесены, наряду с жильными образованиями, концентрированное шунгитовое вещество в виде лепешек в суйсарских осадочных породах, включения в цементе шунгитовых брекчий и капли в высокоуглеродистых шунгитовых породах, а также рассеянное шунгитовое вещество во вторичных продуктах заполнения трещин и пустот в диабазовых породах суйсария и т. д.

Все исследования свойств шунгитового углерода проведены на шунгитах I разновидности, и в первую очередь на жильном шунгите месторождения вблизи с. Шуньга Карельской АССР. Его первое описание было сделано около 100 лет назад Иностранцевым. Он же дал название «шунгиты» этим древним углеродсодержащим породам [3].

Породы II и III разновидностей, содержащие, соответственно, 55—80 и 25—55% углерода, определяются как высокоуглеродистые, или собственно шунгитовые, IV разновидность (5—25% углерода) — как среднеуглеродистая, или шунгитистая, и V разновидность (менее 5% шунгитового вещества) — как малоуглеродистая, или шунгитсодержащая.

Среди шунгитовых пород выделяются группы с карбонатной и сложносилкатной основой. Содержание шунгитового углерода в карбонатной породе обычно низкое и не превышает 1%. Наиболее сложны и разнообразны по составу шунгиты с силикатной минеральной основой. В этих породах сосредоточена основная масса шунгитового углерода, поэтому они представляют наибольший интерес. По существу, это различные сочетания четырех компонентов: шунгитового углерода, кварца, алюмосиликатов (слюды и плагиоклаза) и хлоритов разной гранулометрии с примесью окислов металлов, сульфидов и т. д. В калиевых породах верхнего горизонта толщи шунгитовых пород заонежской свиты отношение кварц—сложные силикаты в зольной части может меняться от нуля до 0,95. Натровые породы (нижний горизонт) не образуют ассоциаций с высоким содержанием кварца, максимальное количество которого в пересчете на зольную часть составляет там 0,4.

В составе сложных силикатов шунгитовых пород заонежской свиты (% от минеральной части:  $\text{SiO}_2$  58,00,  $\text{TiO}_2$  1,32,  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  26,10,  $\text{MgO}$  3,30,  $\text{CaO}$  1,16,  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  7,40) варьируют, в основном, содержания окислов железа и алюминия, а также соотношение  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ , однако суммарное содержание этих окислов относительно постоянно — 24—29%. Соотношение  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  изменяется в широких пределах. — от 1,0 до 12, а соотношение  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}_3$  — от 0,12 до 4,0. Микроэлементный состав зольной части ряда образцов определяли при помощи эмиссионного спектрального анализа (табл. 1). В золе обнаружены также As, Se, P, Zn, Mo, Pb, Ba, W и другие элементы. Из малых элементов в повышенных по сравнению с кларковыми концентрациях встречаются Ni, V, Cu.

Таблица 1

Состав микроэлементов зольной части шунгитовых пород, % от золы

Разновидности шунгитов	C	Ni	Co	Cr	V	Mn	Ti	Cu
I	99,3	>1	0,022	0,046	>1	—	—	0,15
I <sub>1</sub>	99,8	>1	0,046	0,150	0,68	—	—	>1
I	98,7	>1	0,022	0,068	~1	—	—	0,032
II	61,4	0,095	0,0057	0,073	0,51	0,008	0,046	0,0069
III	32,5	0,032	0,0033	0,038	0,12	0,003	0,18	0,060
III	34,5	0,018	0,0010	0,040	0,12	0,003	0,25	0,042

Основным полезным компонентом шунгитовых пород, естественно, считается углерод. Он и определяет большинство характеристик шунгитов.

Шунгиты I разновидности черного цвета, они имеют блестящую поверхность и раковистый стеклообразный излом. Внешне напоминают стеклогуглерод. Твердость по шкале Мооса 3,5. С увеличением доли силикатной составляющей в породе твердость возрастает, и у шунгита III разновидности она равна 4,5. Микротвердость образцов I разновидности замерить не удастся, так как алмазная пирамидка либо не оставляет следа на поверхности образцов, либо разрушает ее. Текстура ясно выраженная слоистая, что четко проявляется при электрохимическом травлении образцов в слабых растворах минеральных кислот и щелочей. В породах II—V разновидностей анизотропия, как правило, слабее.

Пикнометрическая плотность образцов шунгитов I разновидности из четырех месторождений, измеренная в керосине, составляет 1,90—2,01 г/см<sup>3</sup>, объемная варьирует в пределах 1,18—1,87 г/см<sup>3</sup> и указывает на различную пористость этих образцов. Открытая (кажущаяся) пористость наименее плотного шунгита составляет около 42%, наиболее

плотного — около 3%. Плотность шунгитовых пород других разновидностей зависит от минерального состава: низкоуглеродистые шунгитосодержащие породы по плотности близки к кварцу, высокоуглеродистые занимают промежуточное положение между кварцем и шунгитом I разновидности.

По физико-механическим характеристикам шунгиты I разновидности превосходят графит [4] и приближаются к стеклоуглероду (табл. 2). Предел прочности на сжатие у шунгитовой породы III разновидности несколько ниже, чем у составляющих его компонентов — шунгитового углерода и кварца. Вероятной причиной этого могут быть ослабленные связи на межзерновой границе углерод—силикаты.

Таблица 2

Физико-механические характеристики шунгитовых пород I и III разновидностей

Показатель	Шунгит		Графит ЭГ-О-ПУ	Стекло- углерод СУ-2000
	I	III		
Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	210 <sub>⊥</sub>	154	38	260
Модуль упругости $E \cdot 10^{-5}$ , МПа	0,186 <sub>⊥</sub> 0,236 <sub>  </sub>	0,314	0,094 <sub>⊥</sub> 0,155 <sub>  </sub>	0,303— 0,351
Модуль сдвига $G \cdot 10^{-4}$ , МПа	0,80 <sub>⊥</sub> 1,07 <sub>  </sub>	1,10— 1,73	0,365 <sub>⊥</sub> 0,624 <sub>  </sub>	—
Коэффициент Пуассона $\mu$	0,167— 0,215 <sub>⊥</sub>	0,203— 0,237	0,23— 0,27 <sub>  </sub>	

Примечание: знаки  $\perp$  и  $\parallel$  указывают, что образец вырезан, соответственно, перпендикулярно и параллельно слоям.

Фактором, определяющим проводимость, является шунгитовый углерод. Максимальную проводимость имеет шунгит I разновидности из месторождения Шуньга ( $\sigma=4762$  см/м). Статистической обработкой данных измерений проводимости более 200 образцов шунгитовых пород с содержанием углерода от 5 до 65% выявлена эмпирическая зависимость проводимости от содержания углерода, согласно которой  $\sigma=1,5 C^{1,87}$ , где C — содержание углерода, %. Исследования зависимости удельного сопротивления от температуры в интервале 20—900°C показали, что шунгитовый углерод является типичным полупроводником с положительным коэффициентом сопротивления [5]. С ростом температуры сопротивление монотонно падает.

Теплопроводность шунгитов зависит от минерального состава и содержания углерода. Шунгиты I разновидности имеют коэффициент теплопроводности 2,6—3,2 Вт/м · °C и по этой характеристике близки к стеклоуглероду с невысокой температурой обработки (3,5—4,5 Вт/м · °C [6]), но значительно уступают графиту. В высокозольных породах теплопроводность обусловлена составом зольной части. Так, у лидита, содержащего около 95% кварца и 5% углерода,  $\lambda=6,0$  Вт/м · °C, т. е. близка к  $\lambda$  кварца, в то время как сложносилкатные породы, содержащие примерно 0,5% углерода, имеют теплопроводность около 3,5 Вт/м · °C. Наиболее низкие значения  $\lambda$  отмечены у шунгитов II разновидности (2,2 Вт/м · °C). Для высокоуглеродистых пород характерно возрастание теплопроводности с температурой, а у пород с малым содержанием углерода отмечается ее снижение.

Термостойкость шунгитовых пород существенно зависит от их минерального состава и структуры [3, 7]. Нетермостойки шунгиты I разновидности с явно выраженной анизотропией, а также стратифицирован-

ные породы с высоким содержанием углерода, например шунгиты II разновидности, минеральная часть которых содержит силикаты со слоистой структурой. Эти породы составляют меньшую часть из всего многообразия шунгитов.

Коэффициент термического расширения (к. т. р.) изменяется в широком диапазоне. Для шунгитов I разновидности в интервале температур 20—1000°C величина к. т. р. может меняться от  $0,6—1,5 \cdot 10^{-6}$  до  $6,4—14,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  в зависимости от ориентации анизотропного образца. Для пород II—V разновидностей диапазон колебаний к. т. р. не менее широк — от 2,1 до  $35,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Границы разброса значений к. т. р. несколько сокращаются при вторичной и последующих термообработках.

Эффективная теплоемкость шунгитового углерода при нагревании до 500°C плавно возрастает от 0,808 до 1,089 кДж/кг · К. При 600°C имеет место небольшой максимум, объясняемый авторами [8] эндотермическим разложением части минеральных примесей. При умеренных температурах теплоемкость шунгита I разновидности мало отличается от теплоемкости графита. Высшая теплота сгорания  $Q_d^i = 33,561 \pm 0,083$  МДж/кг.

Электронномикроскопические исследования поверхности скола шунгитов I разновидности выявили два типа их морфоструктуры — глобулярный и пачечный. Глобулы в ряде случаев сконцентрированы в небольшие скопления с преимущественной ориентацией [3, 9]. По внешнему виду поверхность скола напоминает стеклогуглеродную. Размеры глобулярных частиц 100—200 Å. Иногда морфоструктура образована пачками, в которых четко видны ступеньки излома, изменяющие направление при переходе от одной пачки к другой. Все шунгиты имеют слоистое строение, толщина слоев 200—2000 Å. Изредка встречаются иглообразные волокнистые образования. В приведенных работах надмолекулярные структурные элементы классифицированы на две категории: глобулы рассматриваются как структурные элементы первого порядка, скопления глобул, слои, каплевидные области, пачки — второго порядка. Названные фрагменты в той или иной мере присущи всем шунгитовым породам.

Рентгенографически показано, что шунгитовый углерод является неграфитирующимся материалом [3]. Дифрактограммы шунгитов I разновидности обнаруживают непрерывное рассеяние рентгеновских лучей во всей угловой области измерений с немногочисленными диффузными максимумами, соответствующими угловому положению дифракционных линий решетки графита. Проявляются широкие размытые линии 002, 100 и очень слабые 004 и 110, линии типа *hkl* отсутствуют, линии 100 и 110 асимметричны. Вероятно, в структуре шунгитового углерода имеет место лишь ближний порядок. Атомы углерода образуют плоские сетки графитового типа, которые упакованы в пакеты конечных размеров, а сами пакеты образуют области с предпочтительной ориентацией (текстурой), связанной с естественным формированием шунгитового вещества.

Исходя из таких представлений характерным для углерода шунгита можно считать межслоевое расстояние по оси С. Величина этого параметра переменна и составляет в среднем 3,46—3,52 Å, что свидетельствует о метастабильной структуре шунгита. Области рассеяния по ширине дифракционных максимумов в направлении оси С равняются 3—6 графитоподобным слоям, в то время как протяженность пачки таких слоев на порядок больше. Угловая кривая интенсивности рассеяния сходна с аналогичной кривой для аморфных и слабокристаллизованных веществ. Радиусы I координационной сферы и число ближайших соседей на этой сфере, как правило, меньше, чем у графита (соответственно, 1,38—1,40 Å и 2,8—2,9 для шунгита, 1,42 Å и 3,0 для графита). При термообработке шунгита до 2800°C структурные преобразования в нем заканчиваются с достижением  $d_{002}$ , равного 3,43 Å [3].

По данным адсорбционных измерений, шунгиты относятся к переходно-пористым материалам с широким распределением пор [3, 10—19]. Самыми изученными являются породы III разновидности, содержащие около 70% углерода. Для них наиболее характерны поры с эффективными радиусами от 30 до 1000 Å и суммарным объемом около 0,014 см<sup>3</sup>/г. Примерно 90% объема занимают поры с радиусами 30—100 Å, около 9% приходится на поры с радиусами от 100 до 1000 Å и более. Установлены микропоры с радиусами 5—7 и 10—14 Å. Удельная поверхность в среднем равна 12 м<sup>2</sup>/г.

Пористая система шунгитов I разновидности (месторождение Шуньга) менее развита. Для нее характерны микропоры с радиусами 5—7 и 10—14 Å, а также переходные поры с радиусами 50—60 Å. Удельная поверхность образцов около 2 м<sup>2</sup>/г.

Краевой угол смачивания поверхности шунгита I разновидности равен 80°, у окисленных образцов  $\Theta=71^\circ$ . Гидрофильность шунгитов может быть обусловлена наличием на поверхности слабых кислотных групп ( $pK \sim 5,5$ ), различными примесями и т. д. [17]. Породы других разновидностей шунгитов, благодаря минеральному составу, высоко гидрофильны. Так, у шунгитов III разновидности  $\Theta=35^\circ$ . Взаимодействие воды с шунгитовым углеродом носит характер физической адсорбции. Изменение энтальпии в системе шунгит I—вода при заполнении монослоя превышает изменение энтальпии при конденсации всего на 4,19—5,29 кДж/моль.

Основные летучие компоненты шунгитов I разновидности, образующиеся при термообработке, — это вода и окислы углерода. Содержание воды в составе летучих 66—90% [20, 21]. Такие шунгиты по оптическим характеристикам (коэффициенты отражения, преломления и поглощения) близки к стеклоуглероду и сравнимы с высокометаморфизованными углями [17].

### Возможные направления практического применения шунгитовых пород

К настоящему времени определились некоторые направления и отрасли народного хозяйства, где шунгитовые породы уже используются или могут быть использованы в будущем. В ряде случаев накоплен большой экспериментальный материал с вполне обнадеживающими результатами. Шунгитсодержащие сланцы обладают способностью вспучиваться при температурах 1080—1200°C. На северо-западе Европейской части Советского Союза создана промышленность по производству легкого заполнителя бетона — шунгизита — с малым объемным весом (300—500 кг/м<sup>3</sup>) [3, 22], тем более что в этом районе ощущается нехватка хорошо вспучивающихся глин для производства керамзита. Производство шунгизита осуществляется там наиболее экономичным «сухим» способом, за счет чего снижаются затраты на капитальное строительство и техническое обслуживание, а легкий заполнитель можно получать в виде как гравия, так и песка. Выпуск шунгизита составляет около 1,2 млн м<sup>3</sup> в год. Промышленное производство конструкций и изделий из шунгизитобетона освоено многими предприятиями и организациями Петрозаводска, Мурманска, Риги, Архангельска и других городов. Возможно также получение легких заполнителей из смеси шунгитового песка и легкоплавкой глины.

Проведенные в заводских условиях испытания показали, что в металлургии применение шунгизитовой засыпки вместо сталеплавильного шлака вдвое снижает потери тепла через зеркало металла [23]. Шунгизитовый песок можно использовать и при производстве пористых дренажных труб для городского коммунального строительства, а дробленый шунгизит — в качестве фильтрующего материала при водоочистке [3].

Благодаря высокой реакционной способности шунгитового углерода как восстановителя, им можно заменять дорогостоящий и дефицитный металлургический кокс в пирометаллургических процессах. Как показали исследования и опытно-промышленные испытания, для этого подходят шунгитовые породы III разновидности, содержащие активный углерод и двуокись кремния в пропорциях, близких к требуемым в фосфорном производстве при получении ферросплавов, в процессах жидкого шлакоудаления и др. В этих случаях шунгит проявляет одновременно свойства и восстановителя, и флюса [3, 24].

Шунгитовые породы можно использовать при производстве синтетического чугуна в индукционных печах в качестве карбюризатора и одновременно накремнителя металла. Полученный таким способом синтетический чугун не уступает чугуну обычной плавки [25].

Как известно, углеродсодержащие материалы широко используются в различных производствах, связанных с применением агрессивных фаз. Шунгитовые малозольные породы состоят в основном из химически стойких компонентов — углерода, кварца и слюд. Перспективно поэтому их применение в антикоррозионной технике в виде порошкообразных химически стойких наполнителей в мастичных и лакокрасочных составах, крупнофракционных наполнителей в полимерных, полимерсиликатных составах и силикатобетонах.

Шунгитовые породы II разновидности можно использовать как химически стойкий наполнитель материалов для работы в серной, фосфорной, уксусной кислотах и щелочи натрия. Породы III разновидности можно рекомендовать в качестве наполнителей при работе с соляной, азотной, серной и уксусной кислотами. Как конструкционный материал шунгит III разновидности может быть применен в условиях воздействия соляной, серной и уксусной кислот. Полированные плиты из шунгитов V разновидности — химически стойкий отделочный материал [3].

Благодаря высокой стойкости шунгитовых пород III разновидности по отношению к агрессивному криолитглиноземистому расплаву, перспективно их использование для футеровки алюминиевых электролизеров [26].

В настоящее время актуален поиск новых материалов, которые проявляли бы высокую каталитическую активность и одновременно стойкость при электрохимических процессах и катализе. Шунгитовые породы весьма перспективны в этом плане [27—31]. Электроды из шунгитов III разновидности вполне успешно использовались нами в лабораторных условиях при электролизе водных растворов солей карбоновых кислот (электролиз Кольбе). На основе шунгитов получены катализаторы дегидрирования циклогексанола [30].

Исследования показали принципиальную возможность и выявили количественные характеристики адсорбции на исходных и модифицированных шунгитах органических веществ различных классов: 1) фенола, гваякола, пропилгваякола, эвгенола, 2) олеиновой кислоты и амилата натрия, 3) амилового спирта, 4) веществ лигноуглеводного комплекса древесины и торфяных гидролизатов, нейтрализатов и последрождевой барды, а также лигногуминовых кислот, 5) лигноуглеводных ассоциатов и водорастворимых смол термоллиза целлюлозы и древесины и других веществ. Предположительно, возможна адсорбция лигносульфоновых кислот, азотнокислого лигнина, аминокислот, фенолосоединений, осадочной и эмульгированной смолы. Из газовой фазы удовлетворительно поглощается диоксид серы [3, 10—19].

Шунгитовые породы II и III разновидностей могут заменить графит в противопожарных литейных красках. При этом получается хорошая поверхность отливок и достигается значительный экономический эффект. Масляные покрытия на основе шунгитового пигмента имеют глубокий черный цвет и интенсивный блеск [3]. В виде порошка шунгиты могут использоваться как мульча, способствующая ускорению таяния

снега [32]. Наличие ряда микроэлементов дает возможность применять эти породы как удобрения [3, 33, 34].

Хорошие декоративные и физико-механические свойства шунгитов V разновидности позволяют использовать их как скульптурный и декоративно-строительный материал, пробирный камень [3] и т. д.

В заключение следует отметить, что работы последних лет раскрыли далеко не все возможности использования этих интересных и в определенном смысле уникальных пород. Перспективно, в частности, применение шунгитов в качестве наполнителя электропроводных строительных материалов, например электротехнических бетонов, использующихся в строительстве как нагревательные элементы стен и пола. Токопроводящей фазой подобных композиций служит шунгитовый углерод [35].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Геологический словарь. Т. 2. М., 1973, с. 422.
2. Борисов П. А. Карельские шунгиты. Петрозаводск, 1956.
3. Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования / Под ред. В. А. Соколова и Ю. К. Калинина. Петрозаводск, 1975.
4. Калинин Ю. К., Ольхович Н. Н. Исследование физико-механических свойств шунгита и шунгитовых пород. — В кн.: Шунгитовые породы Карелии. Петрозаводск, 1981, с. 74—84.
5. Тяганова В. И., Дьяконова Т. В. Электрическое сопротивление шунгитов при нагревании. — Там же, с. 84—92.
6. Чеканова В. Д., Фиалков А. С. Стеклоуглерод. Получение, свойства, применение. — Успехи химии, 1971, 40, вып. 5, 777—805.
7. Тяганова В. И., Дьяконова Т. В. Тепловое расширение шунгитовых пород. — В кн.: Минеральное сырье Карелии. Петрозаводск, 1977, с. 136—146.
8. Агроскин А. А., Глейбман В. Б. Теплофизика твердого топлива. М., 1980.
9. Калинин Ю. К., Ковалевский В. В. Электронномикроскопическое исследование структуры шунгитов. — В кн.: Минеральное сырье Карелии, с. 119—124.
10. Адсорбция шунгита из жидкой фазы / Барон Н. Ю. и др. — В кн.: Комплексное использование минерального сырья. Тез. докл. науч.-техн. конф., посвящ. 200-летию ЛПИ. Л., 1973, с. 108.
11. Кинетика хемосорбции  $SO_2$  на модифицированном шунгите / Горштейн А. Е. и др. — Ж. прикл. химии, 1972, 45, вып. 11, 2450—2459.
12. О кинетике адсорбции фенола на шунгите / Горштейн А. Е. и др. — Ж. прикл. химии, 1979, 52, вып. 6, 1279—1282.
13. Адсорбционные свойства шунгитов / Горштейн А. Е. и др. — Изв. Вузов. Химия и хим. технол., 1979, 22, вып. 6, 711—715.
14. Искусственные сорбенты на основе шунгитов и их адсорбционные свойства / Горштейн А. Е. и др. — Коллоид. ж., 1980, 13, вып. 3, 542—546.
15. Понькина Н. А., Дюккиев Е. Ф. Сорбционная активность по отношению к парам воды и структурные характеристики шунгитов. — В кн.: Минеральное сырье Карелии, с. 146—158.
16. Взаимодействие шунгита с парами воды и органических соединений / Понькина Н. А. и др. — В кн.: Шунгитовые породы Карелии, с. 105—116.
17. Некоторые физико-химические и оптические свойства шунгита. 1. / Дюккиев Е. Ф. и др. — Химия тв. топлива, 1983, № 1, 3—9.
18. А. с. 508488 (СССР). Способ очистки промышленных сточных вод от органических примесей / Горштейн А. Е. и др. — Оpubл. в Б. И., 1976, № 12.
19. А. с. 622765 (СССР). Способ очистки сточных вод от органических примесей / Горштейн А. Е. и др. — Оpubл. в Б. И., 1978, № 33.
20. Состав летучих веществ миграционных шунгитов / Калинин Ю. К. и др. — В кн.: Минеральное сырье Карелии, с. 125—132.
21. Масс-спектрометрическое исследование продуктов десорбции шунгита / Ерматов С. Е. и др. — В кн.: Шунгитовые породы Карелии, с. 130—132.
22. Серб В. И., Петрова Н. И. Использование шунгитового песка для производства легких заполнителей. — В кн.: Шунгитовые породы Карелии, с. 148—151.

23. Цыпин С. Я., Калинин Ю. К. Шунгизитовый гравий — засыпка на зеркало металла. — В кн.: Минеральное сырье Карелии, с. 162—169.
24. Об экономической целесообразности переработки апатитового концентрата Ено-Ковдорского месторождения и шунгитовых пород Карелии на желтый фосфор / Белов В. Н. и др. — Фосфорная промышленность. М.—Л., 1975, вып. 3, с. 72—75.
25. Электротермия синтетического чугуна с использованием шунгитовых пород / Кравченко В. А. и др. — В кн.: Шунгитовые породы Карелии, с. 151—159.
26. Исследование возможности использования шунгитовых пород в электролизном производстве / Славин В. В. и др. — В кн.: Минеральное сырье Карелии, с. 162—169.
27. Дюккиев Е. Ф., Туполев А. Т. Каталитическое разложение перекиси водорода на шунгите. — В кн.: Шунгитовые породы Карелии, с. 116—122.
28. Исследование электрохимических свойств шунгита. Сорбция кислорода и образование анодных окисных пленок / Зайденберг А. З. и др. — Электрохимия, 1983, 19, вып. 2, 174—178.
29. Анодные окисные пленки на шунгите и стеклоглереде / Зайденберг А. З. и др. — Электрохимия, 1980, 16, вып. 12, 1871—1875.
30. А. с. 910178 (СССР). Катализатор для дегидрирования циклогексанола / Бельская Р. И. — Оpubл. в Б. И., 1982, № 9.
32. Крутов В. И. Использование шунгитовой мульчи для ускорения снеготаяния в лесных питомниках и на вырубках. — В кн.: Минеральное сырье Карелии, с. 175—179.
33. Исследования некоторых горных пород Карелии в качестве минерального удобрения / Пекки А. С. и др. — Там же, с. 169—175.
34. Волкова В. И., Будыкина Н. М. Шунгитосодержащие карбонатные породы как сырье для известкования кислых почв. — Там же, с. 179—188.
35. Влияние технологических факторов на электропроводность цементно-шунгитовых растворов / Калинин Ю. К. и др. — В кн.: Шунгитовые породы Карелии, с. 132—144.

*Представил А. Раукас*

Поступила в редакцию  
15.06.1984

*Институт геологии Карельского  
филиала Академии наук СССР  
г. Петрозаводск*

*Yu. K. KALININ, Ye. F. DYUKKIEV*

#### PROPERTIES AND PROSPECTS OF THE USE OF KARELIAN SHUNGITES

The paper discusses the results of persistent studies of carbon-containing shungite rocks widely distributed on the territory of Karelia (USSR), including their chemical and mineral composition, physical characteristics (density, strength, hardness, conductance, etc.), as well as adsorption power, chemical stability and catalytic activity. In a number of cases the properties of shungite carbons are similar to those of glass carbon. Due to their specific properties shungites may be used for the production of light-weight aggregates, shungisite, and as a facing and decorative material in engineering. The use of shungites in the chemical and building material industries, metallurgy and in agriculture is also promising.

*Academy of Sciences of the USSR  
Karelian Branch  
Institute of Geology  
Petrozavodsk*