

## ШУНГИТОВЫЕ ПОРОДЫ – 50 ЛЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНСТИТУТЕ ГЕОЛОГИИ

Калинин Ю. К.<sup>1</sup>, Ковалевский В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО Научно-производственный комплекс (НПК) "Карбон-Шунгит"

<sup>2</sup> Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

## SHUNGITE ROCKS – 50 YEARS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH AT THE INSTITUTE OF GEOLOGY

Kalinin Yu. K.<sup>1</sup>, Kovalevski V.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Research-and-production company "Carbon-Shungite" Ltd, Petrozavodsk

<sup>2</sup> Institute of Geology of Karelian Research Center of Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk

Shungite rocks have been studying for more than two centuries including investigations of those at Karelian branch of academy of sciences of former Soviet Union. The laboratory of shungites, as a laboratory of nonmetallic minerals primarily, was established in 1962. One of the first research tasks of the laboratory was a study of carbonaceous shale of Nigozero deposit result in an industrial production of the "Shungizite", a filler of light-weight concretes for sectional residential and industrial building construction. Further integrated studies of shungite rocks during 30 years at the laboratory had led to development of more than 20 directions of practical applications of those, including: coke and flux substitute in the metallurgical industry for ferrosilicium, silicomanganese and cast iron production; a graphite substitute in burn-resistant paints and pastes; a filler in acid-resistant and refractory materials; an agent in thermolysis of hydrocarbons and organosynthesis of cyclic hydrocarbons; a filler of electricity-conducting composite materials providing protection against electromagnetic radiation across a large frequency range; effective sorbents for removal of various organic and inorganic substances, pathogenic bacteria, and heavy metals; etc. Shungite rocks are characterized by highly dispersed silicate mineral grains (average size less than 1  $\mu\text{m}$ ) evenly distributed in amorphous carbon matrix and unique by composition, structure and properties. In 1991 the research-and-production company "Carbon-Shungite" Ltd had been set up to focus on mining of Zazhogino deposit and raising industrial applications of shungite rocks.

During two last decades it have been shown that shungite carbon or the shungite is characterized by an occurrence of globules, as hollow structures including gradually curved graphene layers enveloped nano-sized pores. According to obtained experimental data on submolecular, atomic and energy-band structures the shungite can be classified as mineraloid of fullerene-like carbon and that is different from graphite, diamond and most of pyrobitumens and anthraxolites. In recent years a method of "nanostructuring" of shungite rocks has been worked out. The nanostructuring is founded on the major modification of shungite rocks of a certain composition and structure that leads to a transformation of fullerene-like carbon to hyperfullerene structures and a synthesis of nano-fibrous silicon carbides. A derived product, the "Shungiton" can be used as filler with great potential for production of composites that have to show increased operating characteristics, mechanical and electrical properties in particular. Would-be users of the filler are aircraft, motor-car and shipbuilding industries, etc.

Over the 50 years of investigation of shungite rocks at Institute of Geology of Karelian research center of RAS some secrets of those were revealed. Shungite is now world-famous and arouse interest in its properties and performance capabilities. At the same time shungite is left in unknown in many respects and promising new discoveries.

Шунгитовые породы Карелии имеют более чем 2-вековую историю исследований, в том числе, фактически с возникновением Карело-Финского, далее Карельского филиала АН СССР (Борисов, 1956). В 1962 г., через год после образования Института геологии, создается лаборатория нерудного сырья, впоследствии (с 1975 г.) лаборатория шунгитов, одной из первых задач которой было изучение углеродистых сланцев Нигозерского месторождения. В первом отчете лаборатории (1962 г., научн. рук. П.А. Борисов, отв. исп. Ю.К. Калинин, исп.: В.И. Мартынов, В.И. Горлов, Г.П. Костынюк, Н.В. Укконен) было по-

казано, что исследованные породы пригодны для получения легкого заполнителя типа керамзит, названного впоследствии "шунгизитом" (рис. 1). На основе этой работы было освоено Нигозерское месторождение и построен Кондопожский шунгитовый завод по выпуску щебня, который поставлялся на предприятия по производству шунгизита Северо-Западного, Центрального, Прибалтийского и др. экономических районов СССР. Изначально шунгизит широко использовался в качестве пористого заполнителя бетонов для изготовления несущих конструкций и деталей сборного домостроя, а также в качестве теплоизоляционных засыпок.



Рис. 1. Шунгизит – наполнитель легких бетонов  
Fig. 1. "Shungizite", a filler of light-weight concretes

И хотя, развитие технологий производства новых эффективных утеплителей вызвало падение спроса на шунгизит, однако, его применение явилось экономически оправданным и важным этапом в увеличении эффективности сборного жилищного и промышленного строительства на Северо-Западе СССР. С 1964 г. лабораторию возглавляет Ю.К. Калинин и при поддержке К.О. Кратца и участии Р.И. Буракова, В.И. Горлова, Ю.И. Лукина, И.Е. Ивановой, П.Л. Кацехлина, М.И. Павловой и др. начинается широкое апробирование шунгитовых пород в различных технологиях. В том числе, по использованию шунгитов в качестве минерального пигмента (1965 г.), сырья для получения карбида кремния и металлического кремния (1967 г.), наполнителя материалов, стойких в производствах фосфора, фосфорной, серной и др. кислот (1970 г.). В целом, в краткой справке "Шунгиты – новое комплексное сырье", подготовленной в 1971 г., приводится технологическая классификация шунгитов, в которой перечисляются возможные направления использования различных типов шунгитовых пород: 1 – заменитель кокса и кварцита в производстве фосфора, производство штучных термокислотоупоров; 2 – заменитель графита, пигмент, наполнитель кислотоупоров, ускоритель снеготаяния; 3 – облицовочный материал, легкий наполнитель – шунгизит, поделочный и пробирный камень. При этом отмечается, что "перечисленные направления ... не охватывают всех возможных сфер использования, а отражают лишь результаты начального этапа работ по внедрению в народное хозяйство этих уникальных пород". Принципиально важными для развития этого направления является вывод о необходимости проведения строго координируемых исследований в геологическом и технологическом направлениях. В частности, в последнем направлении – "исследование физических и химических свойств шунгитовых пород и продуктов их химической и термической обработки, а также композиций на их основе". Результаты, достигну-

тые за этот период, были отражены в постановлении Совмина СССР от 04.01.1972 г., в котором Институт геологии определялся головной организацией в области "комплексного исследования углеродсодержащих нерудных полезных ископаемых Карелии – шунгитов" (Шунгиты Карелии ..., 1975).

Началом второго этапа исследований шунгитовых пород в Институте геологии можно считать постановку в 1972 г. в коллективе лаборатории шунгитов (рис. 2) темы "Изучение свойств шунгитовых пород и возможности комплексного использования шунгитов в народном хозяйстве". Под руководством и при непосредственном участии Ю.К. Калинина начаты работы по выработке геолого-промышленной классификации шунгитовых пород (исп. Л.П. Галдобина и В.И. Горлов); определению состава твердой фазы и летучих (исп. Е.Ф. Дюккиев, И.Е. Щипцова и А.П. Пунка); структурным исследованиям с помощью электронной микроскопии (исп. В.В. Ковалевский) и дериватографии (исп. И.Е. Щипцова); изучению свойств шунгитового вещества и пород, в том числе, плотности (исп. А.И. Михайлова), теплового расширения и термической стойкости (исп. В.И. Тяганова), теплотворной способности (исп. Е.Ф. Дюккиев и А.П. Пунка), адсорбции, взаимодействия с кислотами и щелочами (исп. Е.Ф. Дюккиев). Одновременно проводится технологическое изучение различных типов шунгитовых пород для выплавки силикомарганца и ферросилиция, использования в доменном производстве, жидкого шлако-удаления (исп. Ю.К. Калинин); электролизном производстве алюминия (исп. А.И. Михайлова). К технологическим изучениям и обоснованиям эффективности использования шунгитовых пород привлекаются сотрудники Института биологии (В.И. Волкова) и Института леса Карельского филиала академии наук (В.И. Крутов и Н.А. Понькина), а также Всесоюзного алюмо-магниевого института (г. Ленинград).

Проведенные исследования вызвали необходимость создания геолого-технологической базы вблизи выявленных залежей шунгитовых пород в п. Толвуя, Медвежьегорского района, хозяйственным руководителем которой стал Ю.И. Лукин. Именно эта база стала полигоном, на которой были построены экспериментальные сооружения и апробированы многие технологические разработки по использованию шунгитовых пород.

В последующих работах под руководством Ю.К. Калинина продолжается исследование шунгитового углерода и пород с помощью рентгенографии (Е.П. Германов, А.Н. Сафронов), электронографии (В.В. Ковалевский) и дериватографии (И.Н. Зловидов, Н.Г. Зловидова (Ишанькина)) определяются основные параметры структуры шунгитовых пород в целом и предлагаются новые подходы к их классификации (Ю.К. Калинин), изучаются механические свойства пород и возможность их использования в композиционных



Рис. 2. Лаборатория технологии силикатов – лаборатория шунгитов (1972 г.)  
Fig. 2. Staff of the laboratory of shungites (1972)

материалах (Н.Н. Рожкова), определяется термическая стойкость и зависимость электрической проводимости шунгитовых пород от температуры (Тяганова В.И.) и их теплопроводность (В.И. Соколов), исследуются оптические характеристики, гидрофильность и адсорбционные свойства шунгитов в газовых и водных средах, их каталитические свойства и состав экстрагируемых гуминов (Е.Ф. Дюккиев, А.Г. Туполев), изучаются анодные окисные пленки на шунгитах (А.З. Зайденберг), проводится масс-спектрометрическое исследование и определяется изотопный состав шунгитового углерода (А.П. Пунка), изучаются процессы глубокого обогащения шунгитовых пород путем автоклавной обработки в щелочах и кислотах (Л.А. Кондратьева (Сафронова)). Разворачиваются широкие технологические исследования по использованию шунгитовых пород в создании токопроводящих бетонов (Ю.К. Калинин, Т.Д. Риц), в металлургии для производства чугуна, в качестве противопопригарных красок и желобных масс (В.И. Тяганова, А.С. Заверткин) и пр. Рассчитываются технико-экономические обоснования использования шунгитовых пород в качестве заменителя графита и кокса, в производстве фосфора, ферросплавов, чугуна, при создании электропроводящих строительных материалов и антикоррозийных составов (Ю.Е. Капутин) и т.д. Одновременно начинаются работы по исследованию радиоэкранирующих свойств шунгитовых пород и композитов на их основе (В.К. Соловов), разрабатываются технологии получения радиоэкранирующих конструкционных материалов (кирпич, плиты и пр.). В целом, в комплексном исследовании шунгитовых пород принимают участие

сотрудники лабораторий химического и спектрального анализа Института геологии и большая группа сотрудников лаборатории шунгитов: М.А. Андрианова, С.В. Володина, А.С. Гуляев, Т.В. Дьяконова, Н.К. Ершова, А.Н. Ермолин, Т.Н. Ипатова, С.П. Казаков, Н.В. Казьмина, Л.М. Калинина, Е.В. Коробкина, Т.Н. Лазарева, Ю.И. Лукин, Ю.А. Марковский, Т.П. Михайлова, Т.В. Патрикеева, А.В. Петров, А.И. Петрова, В.П. Рязанова, Е.В. Сенченко, О.В. Сорокина, Н.Г. Титаренко, А.Ф. Тихонова, А.П. Шемякин и др.

К исследованиям привлекаются многочисленные организации Карелии и Советского Союза, среди них, "Росоргтехстром", Ленинградский горный институт, Днепропетровский металлургический институт, Петрозаводский проектно-конструкторско-технологический институт, УРАЛНИИСТРОМПРОЕКТ, НИИЖБ, СКТЬ "Дезинтегратор", НИИ мостов ЛИИЖТа, "ЦНИИСК им. Кучеренко", Инженерно-строительный институт, ЛТИ им. Ленсовета, Петрозаводский университет, Институты биологии, леса, экономики, водных проблем Севера Карельского НЦ, и др. В частности, в этот период начинаются биолого-экологические исследования шунгитовых пород, например, работа "Микробиологический контроль степени очистки сточных вод шунгитовыми породами" (1990 г.), инициированная Ю.К. Калининым и проведенная под руководством Л.М. Загуральской (Институт леса КарНЦ РАН), в ходе которой была установлена высокая сорбционная способность шунгитовых пород к бактериальным и патогенным сапрофитам, а также ки-

шечной палочке и простейшим. При этом было предложено проводить регенерацию адсорбента (шунгита) путем термической обработки, а в дальнейшем заменить ее озонированием или пропусканием больших доз ультрафиолета.

Проведенные работы вызвали необходимость выполнения не только технологических, но также полупромышленных и промышленных испытаний шунгитовых пород, которые оформлялись через крупные хозяйственные работы. В частности, разработки по созданию радиоэкранирующих материалов на основе шунгитов вызвали интерес со стороны ряда ведомств (Минрадиопрома СССР, Минсредмаша СССР, Минавиапрома СССР, Минобороны СССР). Центральное конструкторское бюро радиоматериалов (ЦКБ РМ), представляющее интересы этих ведомств, заключило с лабораторией шунгитов большой договор на разработку промышленных технологий радиоэкранирующих материалов (шунгитовых РЭМ), выпуск опытных промышленных партий, строительство экспериментальных помещений из шунгитовых РЭМ и их радиотехнические испытания. Были разработаны промышленные технологии шунгитовых РЭМ. Выпущены промышленные партии РЭМ в виде кирпича на Петрозаводском заводе силикатного кирпича. Материалы были испытаны в сооружениях на базе Института геологии в с. Толвуя Медвежьегорского района, получили признание в оборонных ведомствах. Из них были построены экранированные помещения в Петрозаводске и Ленинграде (Минрадиопром), Москве (Институт космических исследований), Пензе (Минсредмаш), Куйбышеве (Минавиапром), Болгарии (Минобороны). Минпромстройматериалов СССР, планируя организацию широкомасштабного производства шунгитовых РЭМ, выдал задание на геологическую разведку Зажогинского месторождения шунгитовых пород, которая была завершена в 1985 году и утверждены запасы в объеме 30 млн. тонн. Можно также вспомнить и хозяйственную работу в рамках развития сырьевой базы шунгизита и улучшения качества шунгизита в Карелии, а именно по разведке месторождения шунгитосодержащих сланцев Мягрозера. Технологическую оценку выполнила лаборатория шунгитов. Было показано, что породы Мягрозерского месторождения являются сырьем отличного качества. Шунгизит из мягрозерских сланцев обладал значительно меньшей насыпной плотностью, лучшими теплозащитными свойствами. При одинаковых затратах выход продукции из мягрозерских сланцев достигался в 1,5 раза выше. Следует отметить, что существенный вклад в народнохозяйственное освоение шунгитов внесли карельские геологи и энтузиасты развития Карелии – А.Н. Шлямин (секретарь обкома КПСС) и С.Ф. Военушкин (министр стройматериалов СССР).

В целом, фундаментальные и прикладные работы, проведенные в созданной для этой цели лаборатории шунгитов, показали, что шунгитовые

породы являются уникальным полезным ископаемым и могут быть использованы как комплексное минеральное сырье широкого спектра применения. В том числе, было установлено, что высокоуглеродистые шунгитовые породы являются эффективными адсорбентами для процессов водоподготовки, способными сорбировать фенолы, гумины и нефтепродукты. Показано, что материалы на их основе проявляют высокую каталитическую активность в процессах органического синтеза циклических углеводородов, разложения перекиси водорода и др., что особенно важно для создания экологически чистых химических производств. С использованием шунгитовых пород могут быть получены различные конструкционные радиоэкранирующие материалы, не искажающие естественное магнитное поле Земли и обеспечивающие защиту человека от техногенных электромагнитных излучений. Важное значение имеют направления, связанные с их использованием в качестве активного наполнителя широкого класса композиционных материалов на основе органических и неорганических связующих, которые придают композитам целый комплекс новых свойств: износостойкость, химстойкость, электропроводность и др. (Шунгиты – новое углеродистое сырье, 1984; Калинин, Дюккиев, 1984; Калинин, 1990).

Вместе с тем, практическое использование шунгитовых пород фактически сдерживалось отсутствием промышленной цепочки разработки месторождения, добычи сырья, его первичной подготовки (дробление и разделение по фракциям), складирования и отгрузки потребителю. Именно для создания такого цикла и освоения Зажогинского месторождения Ю.К. Калинин уходит из Института геологии и в феврале 1991 г. создает компанию "Карбон-шунгит", а руководство лабораторией шунгитов переходит к Е.Ф. Дюккиеву, а с 1995 г. – к В.В. Ковалевскому. Параллельно создается лаборатория физических и химических исследований шунгитовых пород (зав. А.З. Зайденберг), которая была расформирована уже в 1992 г. в связи со значительным урезанием финансирования советской науки. При этом существенно уменьшался состав лаборатории шунгитов и ограничивались направления исследований шунгитовых пород. В условиях отсутствия стабильного финансирования пришлось отказаться от большинства технологических исследований и сосредоточиться только на тех направлениях, которые могли быть обеспечены в рамках и на оборудовании Института геологии, в частности, на более глубоком изучении структуры и электрофизических свойств шунгитового углерода и пород в целом.

В результате фундаментальных структурных исследований в этот период получены данные кардинально меняющие представления о структуре шунгитового углерода и шунгитовых пород, их свойствах и генезисе. Шунгитовый углерод, или шунгит, по современным представлениям это не-

графитируемый фуллереноподобный углерод. Это стабильная специфичная форма углерода, отличного от графитового на уровне надмолекулярной, атомной и зонной (электронной) структуры. Главным надмолекулярным признаком шунгита является способность формировать сферические структуры – полые глобулы, на атомном уровне – наличие помимо только гексагональных колец, свойственных графиту, также пентагональных и гептагональных, характерных для фуллереноподобных структур. На уровне зонной структуры – уменьшение по отношению к графиту энергий коллективных возбуждений валентных (внешних) и остовных (внутренних)  $\pi$ - и  $\sigma$ - электронов, что также присуще и фуллеренам (Ковалевский, 1994; Ковалевский, 2009). Шунгит некоторых месторождений имеет диамагнитные свойства, характерные для фуллеренов (Kovalevski, Prikhodko, Buseck, 2005). Углерод, подобный шунгиту обнаружен не только в Карелии, например, в выходе пиробитумов Садбэри и некоторых золоторудных месторождениях (Советское и Эриксон) (Kovalevski, Buseck, Cowley, 2001), но именно, в Карелии шунгит является уникальным по форме проявлений и гигантским промышленным запасам.

Структура шунгитовых пород также специфична. Она подобна структуре стеклокристаллических материалов – высокодисперсные кристаллы распределены в аморфной матрице. В шунгитовых породах роль аморфной матрицы выполняет шунгитовый углерод, в котором минеральные компоненты присутствуют в виде микрокристаллов, размерами в среднем около 1 мкм, нанокристаллов (до 10 и менее нм), а также, слоев и кластеров, интеркалирующих углерод.

Специфическая структура шунгита и шунгитовой породы определяют их свойства. Наличие шунгитовой матрицы сообщает породам высокую электропроводность. Шунгитовый углерод обладает высокой реакционной способностью в окислительно-восстановительных реакциях. Благодаря матричной структуре породы и дисперсности силикатов контактная поверхность между углеродом и силикатами оказывается развитой чрезвычайно (до 20 м<sup>2</sup>/г). Вследствие этого окислительно-восстановительные реакции между ними протекают исключительно интенсивно – при более низких температурах, чем в традиционных процессах и при более высоких к.п.д. Так при синтезе кремния в доменных печах 1 кг шунгитового углерода эквивалентен по эффекту 3-4 кг коксового углерода. Синтез карбида кремния при использовании в качестве сырья шунгитовой породы происходит при температурах на 300-500 °C ниже, чем на традиционной шихте.

Структура шунгитового углерода обуславливает его большую химическую стойкость, чем графита в агрессивных средах, как например, в расплавах алюминиевых электролизеров. Шунгитовые породы проявляют высокие сорбционные

свойства, иногда даже более высокие чем активированные угли. Это зафиксировано в частности при очистке питьевой воды от свободных радикалов и от нефтепродуктов. При этом высокая восстановительная способность шунгитового углерода определяет антиоксидантные свойства водных настоев. У шунгитовых пород выявлена способность к саморегенерации сорбционных свойств. При сорбции на поверхности органических веществ (нефтепродуктов, таких токсичных продуктов, как гептил – жидкое ракетное топливо) происходит каталитическое их окисление до простейших продуктов – CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O и поверхность освобождается для последующих актов сорбции.

На современном этапе разработки шунгитовой проблемы в Институте геологии становится актуальным определение схем рационального использования шунгитовых пород и выявление наукоемких технологий, дающих существенный экономический эффект при наименьших затратах этого уникального сырья. Наиболее эффективным представляется направление, связанное с изучением и использованием продуктов глубокой модификации шунгитовых пород, которое базируется на полученных в последние годы фундаментальных знаниях об их структуре и свойствах. Целью модификации является существенное изменение состава, структуры и свойств минеральных и углеродных компонент. Среди способов, позволяющих осуществить глубокую модификацию шунгитовых пород можно выделить температурную обработку, изменение окислительно-восстановительного потенциала среды, иницирование каталитических процессов преобразования углерода и роста неуглеродных автоморфоз. При этом, характер распределения и большая площадь контакта углеродной и минеральной компонент определяют возможность их взаимного кристаллогенеза, в том числе, образование перспективных в технологическом аспекте гиперфуллереновых форм углерода и нановолокнистых карбидов кремния.

На основе изучения процессов термических и барических преобразований шунгитовых пород в последние годы был разработан способ их наноструктурирования, приводящий к слиянию полых глобул в более крупные полые частицы и росту нановолокнистых карбидов кремния, разрывающих, в свою очередь, монолит шунгитовой породы на отдельные наноразмерные компоненты (процесс наноструктурирования) (рис. 3). Данные представления легли в основу проекта (рук. В.В. Ковалевский), представленного в Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд Бортника), и вошедшего в программу «Старт-2005». Обязательным условием выполнения проекта было создание при Институте геологии малого предприятия, которое было названо «Шунгитон» (дир. А.В. Цымляков). Выполнение проекта позволило разработать технологию и оформить в 2008 г.

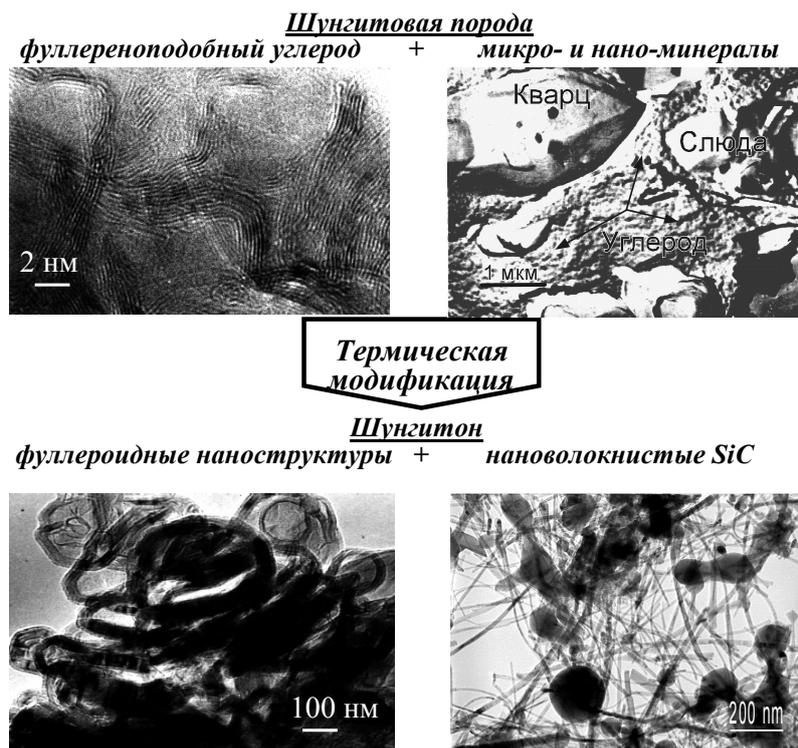


Рис. 3. От шунгитовой породы к «шунгитону»  
Fig. 3. From a shungite rock to the «Shungiton»

патент (авт. В.В. Ковалевский, А.Н. Сафронов) по способу получения принципиально нового продукта на основе шунгитовых пород – "шунгитона", содержащего гиперфуллереновые углеродные структуры и нановолокнистые карбиды кремния. По экспертному заключению ЗАО «ИЛИП» (г. Санкт-Петербург) отмечена оригинальность продукта и отсутствие прямых аналогов в европейской и мировой практике.

Совместные работы с ООО «БуммашТехнолoг» (г. Петрозаводск) в рамках государственного контракта № 10-08 от 7 апреля 2008 года " Исследование процессов получения композиционных материалов на основе наноструктурированного шунгитового наполнителя, содержащего гиперфуллерены и нановолокнистые карбиды кремния", поддержанного Министерством экономического развития Республики Карелия позволили установить, что наноструктурированный шунгитовый наполнитель показывает большую, чем исходная шунгитовая порода, эффективность в качестве наполнителей композиционных материалов. В частности, при введении 10% наполнителя прочность термореактивных композитов (ЭПАНа) повышается на 45% при значительном увеличении износостойкости (более 20%). Предварительные результаты, проведенных с НТЦ «НИИ шинной промышленности» (г. Москва) исследований «Рынок и перспективность использования резин с наноструктурированными наполнителями на основе шунгитовых пород, содержащими гиперфуллереновые структуры и нановолок-

нистые карбиды кремния», показали перспективность наполнителей "шунгитон" для их использования в составе шинных резин. Совместно с Учреждением Российской академии наук Институтом металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва (ИМЕТ РАН) разработано введение наноструктурированных шунгитовых пород в алюминиевую матрицу методом композиционных брикетов на основе алюминиевых гранул (метод порошковой металлургии). При этом по сравнению со стандартным антифрикционным сплавом коэффициент трения во всем диапазоне нагрузок в среднем уменьшен на 10-20%, интенсивность изнашивания уменьшена на 35-40%, диапазон трибонагружения расширен до 60Н при минимальном разбросе значений коэффициентов трения (Калашников, 2010). Также научно-технический Центр ОАО «Новомет» (г. Пермь) подтвердил интерес к продолжению сотрудничества после первых испытаний продукта при производстве изделий методом порошковой металлургии по теме «Исследование влияния шунгитовых наноструктурированных наполнителей на структуру и свойства нержавеющей стали». На основе полученных результатов был разработан бизнес-план, который по представлению Министерства экономического развития РК был включен в десятку перспективных проектов Республики Карелия в 2010 г.

Широкое практическое использование наноструктурированных шунгитовых пород в наукоемких технологиях, связанных, например, с созда-

нием новых поколений композиционных материалов, сопряжено с рядом как отрицательных, так и положительных моментов. В частности, процессы наноструктурирования чрезвычайно чувствительны к изменению состава пород, распределению и структуре минеральных компонент и углерода даже в пределах одного месторождения, что вызывает необходимость создания принципиально новых схем переработки исходного сырья. Существенное изменение свойств наноструктурированных шунгитовых пород не исключает возможность их использования в ранее разработанных технологиях (шунгитонаполненные бетоны, штукатурки, пластмассы, резины и пр.). Вместе с тем, наиболее перспективным представляется использование наноструктурированных шунгитовых пород в новых направлениях, где использование исходных шунгитовых пород невозможно, как например, модификаторов и наполнителей металлических сплавов, керамик, и пр.

В настоящее время в лаборатории шунгитов проводятся структурные исследования с помощью рентгеновской дифракции (Е.П. Германов, А.Н. Сафронов), электронной микроскопии (В.В. Ковалевский), дериватографии (Е.В. Коробкина), изучается воздействие природных процессов на особенности минеральных компонент и углеродистого вещества (С.Ю. Чаженгина), а также их изменение на микроуровне в процессах природного выветривания и лабораторного моделирования (В.С. Рожкова, И.В. Кочнева), исследуются электрофизические свойства шунгитовых пород, подвергнутых природным и техногенным воздействиям (И.А. Мошников, А.В. Петров). Безусловно, проводимые в Институте геологии исследования ни в коей мере не могут охватить все потенциально возможные направления использования этого уникального природного сырья. В этой связи, следует отметить, что интенсивные работы по изучению шунгитовых пород осуществляются в ООО НПК "Карбон-Шунгит", в том числе по практическому опробованию и промышленному использованию, включая поставки (рис. 4), шунгитовых пород Загогинского месторождения в ряде отраслей. Наиболее масштабно используются шунгиты в металлургии. Одним из применений в металлургии является доменная выплавка литейных чугунов. В этом процессе шунгит применяется в качестве сырья для синтеза металлического кремния, т.е. выполняет роль легирующей добавки. Синтез Si из шунгита происходит значительно эффективнее, чем по традиционной технологии. При выплавке передельного чугуна шунгит используется в доменном процессе для наведения SiC, который садится на стенки домны, создает защиту для стенок и лечит домны на ходу. Такой способ лечения печей используется нынче практически на всех металлургических комбинатах России и в Германии.

Основные перспективы практического использования шунгитовых пород представляются свя-

занными с экологическими проблемами. Радиоэкранирующие шунгитовые материалы находят применение в практике оздоровления (шунгитовой терапии). В Военно-медицинской академии (г. С-Петербург) построены две палаты. В них проходили лечение чернобыльцы, работники атомных станций и нефтеперерабатывающих заводов, больные с сердечнососудистыми заболеваниями. Заключение – адаптационный эффект электромагнитной депривации больных в «шунгитовой палате» проявляется в значительном сокращении сроков реабилитации после отравлений и острых заболеваний. Экранирование от электромагнитного смога приводит к активации системы иммунной защиты. «Шунгитовые комнаты» построены в настоящее время в санаториях Петрозаводска, Пятигорска, Сочи, Н. Новгорода и др.

Шунгит способен глубоко чистить воду от различных органических веществ и некоторых неорганических. Поэтому уже сейчас шунгиты используются для подготовки питьевой воды. В г. Пушкино (Московская область) на шунгите работают фильтры городского водозабора. Широко используется шунгит в бытовых фильтрах. Эффективно работают фильтры по очистке сточных вод от нефтепродуктов. Широки возможности применения шунгитов в сельском хозяйстве как удобрения, которое повышает не только урожайность, но и стойкость сельскохозяйственных культур к заболеваниям. Положительно проявил себя шунгит как кормовая добавка в пище пушных зверей, свиней, птицы.

Проведенные структурные, физико-химические и технологические исследования шунгитовых пород позволяют по-иному взглянуть на вопросы его генезиса:

1. Шунгит – оригинальная форма элементарного некристаллического углерода, отличного от графита и алмаза и от большинства пиробитумов и антраксолитов по надмолекулярной, атомной и зонной структуре.

2. Строение высокоуглеродистых шунгитовых пород – высокодисперсные силикаты в матрице шунгитового углерода – указывает на то, что такая структура могла образоваться из гомогенных высоковязких хемогенных растворов. Все высокоуглеродистые шунгитовые породы – хемогены, в общем случае составленные тремя компонентами: силоксановым (органосиликатным), сложносиликатным и кремнеземистым.

3. Шунгитовый углерод высокоактивный восстановитель. Силикатные минералы для него окислители. Поэтому такие системы не могут существовать и сохраняться при высоких температурах. В них неизбежно реализуются окислительно-восстановительные реакции (подобные доменным), конечными продуктами которых являются металлы или карбиды. В этой связи трудно представить себе наличие углерода, как это часто отмечается, в базитах или на контакте с ними (Лебящина, Максогово). Нельзя исключать, что некоторые из этих



Рис. 4. Погрузка шунгитовой породы (ООО «НПК «Карбон-Шунгит»)  
Fig. 4. Shipment of shungite rocks ("Carbon-Shungite" Co Ltd)

пород ошибочно принимаются за вулканиты. Они также могут быть хемогенами и представлять собой сложносилкатный компонент шунгитовых хемогенов. В период формирования заонежской свиты хемогенные процессы были масштабны, а хемогенные очаги (автоклавы) могли продуцировать вязкие растворы разнообразного состава: кремнеземистые (лидиты), силоксановые (шунгит – II), смешанные силоксанокремнеземистые (шунгит – III), сложносилкатные, карбонатные и смешанные сложные.

За прошедший период шунгит открыл некоторые свои тайны, стал известен в мире, заинтересовал людей своими широкими возможностями и в то же время остался во многом непознанным и обещающим новые открытия.

#### Литература

*Борисов П.А.* Карельские шунгиты. Петрозаводск, 1956, 92с.

*Калашиников И.Е., Ковалевский В.В., Чернышова Т.А., Болотова Л.К.* Алюмоматричные композиционные материалы с наполнителями из шунгитовых пород // *Металлы* 2010, № 6, с. 85-95.

*Калинин Ю.К., Дюккиев Е.Ф.* Свойства и перспективы использования шунгитов Карелии // *Горючие сланцы*. 1984. Т. 1. № 3. С. 277-284.

*Калинин Ю.К.* Шунгитовые породы: структура, свойства и области практического использования // *Записки ВМО*. 1990. Ч. 119, Вып. 5, с. 1-8.

*Ковалевский В.В.* Структурное состояние шунгитового углерода // *Журн. неорг. химии* 1994, Т. 39, № 1, с. 31-35.

*Ковалевский В.В.* Шунгит или высший антраксолит? // *Записки РМО*. 2009. № 5. С. 97-105.

Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования. Ред. В.А. Соколов, Ю.К. Калинин. Петрозаводск, 1975. 240 с.

Шунгиты - новое углеродистое сырье // Под ред. В.А. Соколова, Ю.К. Калинина, Е.Ф. Дюккиева. Петрозаводск, "Карелия", 1984, 182 с.

*Kovalevski V.V., Buseck P.R. and Cowley J.M.* Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: An X-ray and TEM study // *Carbon*. 2001. V. 39. № 2. P. 243-256.

*Kovalevski V.V., Prikhodko A.V., Buseck P.R.* Diamagnetism of natural fullerene-like carbon // *Carbon*. 2005. V. 43. № 2. P. 401-405.