

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК [621.039.537:620.3]–026.66

БЕЛОУСОВА
Елена Сергеевна

**НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ШУНГИТА**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы

Минск 2015

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Лыньков Леонид Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Лабунов Владимир Архипович**, академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИЛ 4.5 «Нанопотоника» учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Филатов Сергей Александрович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Синтез и анализ микро- и наноразмерных материалов» Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси

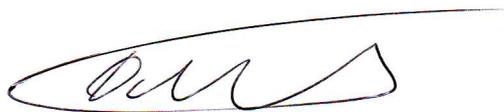
Оппонирующая организация Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Защита состоится 4 июня 2015 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.07 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovets@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан 28 апреля 2015 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
доктор физико-математических
наук



Д.Б. Мигас

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Современные подходы к использованию минерального сырья, в том числе наноструктурированных углеродосодержащих пород, основаны на поиске принципиально новых методов модификации для получения новых компонентов, которые впоследствии могут быть применены в различных отраслях деятельности. Перспективными в этом плане являются шунгитовые породы, уникальные по генезису, минеральному составу и проявлениям углеродистого вещества. Их свойства определяются структурой, распределением углерода и характером полиминерального структурообразования. Исследование этих особенностей на микро- и наноуровне может внести вклад не только в решение фундаментальной проблемы эволюции углеродистого вещества, но также в разработку новых направлений практического использования углеродосодержащих пород.

На настоящий момент перспективным является создание экранов электромагнитного излучения на основе композиционных материалов, содержащих порошкообразные углеродосодержащие и растворные наполнители. Создание экранов электромагнитного излучения с заданными значениями характеристик ослабления и отражения электромагнитного излучения осуществляется путем подбора концентрации порошкообразного наполнителя и связующего. Для этих целей используются различные формы углерода. Среди таких материалов значительный интерес вызывает наноструктурированный шунгит, у которого выявлены уникальные электромагнитные свойства, предоставляющие большие возможности использования его при экранировании электромагнитного излучения. Научный и практический интерес к шунгитам усилился после обнаружения в них фуллеренов и наноразмерных фуллереноподобных, в том числе луковичных, структур. В целом шунгит рассматривается как композит из углеродных наночастиц и разупорядоченного (турбостратного) углерода с разнообразными микро- и наноразмерными минеральными примесями.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 453-о от 22.12.2012 г. и соответствует подразделу 5.5 «Методы, средства и технологии обеспечения информационной безопасности при обработке, хранении и передаче данных с использованием

криптографии, квантово-криптографических систем» и 8.4 «Новые композиционные материалы на основе металлов, керамики и углерода, нано- и микроструктурированные материалы и способы их синтеза, нанотехнологии, моделирование и создание адаптивных материалов» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19 апреля 2010 г., № 585.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-технической программы Союзного государства «Разработка инновационных технологий и техники для производства конкурентоспособных композиционных материалов, матриц и армирующих элементов на 2012–2016 годы», шифр «Компомат», утвержденной постановлением Совета Министров Союзного государства № 46 от 12 декабря 2012 года, научно-исследовательской работы ГБЦ № 14–3130 «Модифицирование порошкообразного шунгита методом термообработки» (с 03.01.2014 г. и по 31.12.2014 г.).

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы состоит в установлении закономерностей физических и химических процессов, происходящих в наноструктурированных шунгитосодержащих композиционных материалах при термообработке, и взаимодействие этих материалов с электромагнитным излучением для создания экранов электромагнитного излучения.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Произвести анализ литературных источников и патентной информации о взаимодействии электромагнитного излучения с наноструктурированными материалами. Обосновать выбор порошкообразного шунгита в качестве наноструктурированного материала для создания экранов электромагнитного излучения.
2. Разработать лабораторные методы формирования композиционных материалов на основе порошкообразного шунгита и выбрать методы определения структуры, химического состава и экранирующих электромагнитное излучение свойств материалов.
3. Установить влияние режимов термообработки порошкообразных материалов на основе шунгита на их фазовый состав, структуру и свойства экранирования электромагнитного излучения.
4. Разработать, изготовить и исследовать экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразных шунгитосодержащих материалов (титаномагнетит, диоксид титана, диоксид кремния).

Научная новизна

1. Совокупность экспериментальных данных, доказывающих, что термообработка порошков наноструктурированного шунгита приводит к образованию ортоклаза с содержанием до 13 % при термообработке в вакууме (900 °С); до 21 % при термообработке в атмосфере хлорида аммония (900 °С); до 68 % при термообработке на воздухе (900 °С), сохранению содержания наноразмерных многослойных фуллереноподобных глобул при термообработке в вакууме и к снижению их содержания до нулевых значений при термообработке в среде хлорида аммония и на воздухе в сочетании с переходом диоксида кремния в ортоклаз.

2. Установлено сохранение коллоидного состояния при введении порошков наноструктурированного шунгита и сульфата кальция (технический гипс) в состав насыщенных водных растворов CaCl_2 и MgCl_2 , что приводит к стабилизации влагосодержания в коллоидной смеси.

Положения, выносимые на защиту

1. Термообработка на воздухе и в среде хлорида аммония при 900 °С порошков наноструктурированного шунгита, содержащего 18,8 масс. % фуллереноподобных глобул размером 10 нм, приводит к превращению мусковита в ортоклаз, снижению электрической проводимости шунгита, что в свою очередь приводит к увеличению коэффициента передачи электромагнитного излучения с –20 дБ до –5 дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц, коэффициент отражения, измеренный в режиме короткого замыкания, снижается с –2 дБ до –6 дБ при формировании экранов электромагнитного излучения.

2. Смеси из порошков наноструктурированного шунгита и гипса (менее 30 масс. %) в насыщенных водных растворах CaCl_2 или MgCl_2 сохраняют коллоидное состояние за счет присутствия и удержания в них связанной воды кристаллогидратами $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, что позволяет формировать разовые (смываемые водой) покрытия на поверхности подвижных объектов для электромагнитной маскировки с коэффициентом отражения при толщине экрана 3–4 мм до –5,9 дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц.

3. Обработка открытым пламенем (1700 °С, длительность 3 мин) водоземulsionных покрытий из композиционной краски с добавлением порошков наноструктурированного шунгита (до 10 масс. %), титаномагнетита (до 10 масс. %) и диоксида титана (до 10 масс. %) на целлюлозном основании сохраняет вспенивание покрытия за счет образования в его составе ортоклаза (до 63 масс. %), кремния (до 4 масс. %) и сохранения рутила и оксида циркония и характеризуется коэффициентом отражения электромагнитного

излучения $-10... -13,5$ дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц, что позволяет их использовать в качестве красочных покрытий для маскировки средств военной техники.

4. Порошки термообработанного при температуре $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ шунгита характеризуются значением коэффициента спектральной яркости $0,03... 0,07$ отн. ед., что позволяет рекомендовать синтезированный материал для скрывания конструктивных особенностей объектов на фоне черноземных и супесчаных почв.

Личный вклад соискателя ученой степени

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно. В совместно опубликованных работах автору принадлежат разработка методик термической обработки порошкообразного шунгита и создания конструкций экранов электромагнитного излучения на его основе; проведение исследований экранирующих электромагнитное излучение характеристик, спектральной плотности энергетической яркости, рентгенофазовый анализ, а также обработка, анализ и интерпретация полученных результатов, формулировка выводов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились с научным руководителем, доктором технических наук Л.М. Лыньковым, который принимал участие в планировании работ и обсуждении результатов, а также с кандидатом технических наук Н.В. Насоновой и кандидатом технических наук Т.А. Пулко, совместно с которыми разрабатывались конструкции экранов электромагнитного излучения (ЭМИ).

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты диссертации обсуждались на международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Минск, 2012, 2013), II Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» (Гомель, 2013), XXI и XXII международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния» (Гродно, 2013, 2014), 49-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 2013), Международной научно-технической конференции «Инженерно-педагогическое образование: проблемы и пути развития» (Минск, 2013), International Conference «Nanomeeting-2013» (Минск, 2013), 23-й Международной Крымской конференции «СВЧ техника и

телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2013)» (Украина, Севастополь, 2013), XVIII международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Минск, 2013), II Международной заочной научно-практической конференции «Информационные системы и технологии: управление и безопасность» (Россия, Тольятти, 2013), IV Международной научно-технической молодежной конференции «Научные стремления» (Минск, 2013), X Международной научно-технической конференции «Управление информационными ресурсами» (Минск, 2013), III международной научно-практической конференции «21 century: fundamental science and technology III» (Россия, Москва, 2014), Международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР (Минск, 2014), 18-м Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Украина, Харьков, 2014).

Опубликование результатов диссертации

Материалы по теме диссертации опубликованы в 11 научных работах (11,4 авторского листа), соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, включая 10 статей в рецензируемых научных журналах в соавторстве. Автору принадлежит 5,2 авторского листа; 1 монография в соавторстве. Автору принадлежит 6,2 авторского листа.

Опубликовано 18 статей в сборниках материалов конференций, семинаров, 5 тезисов докладов в сборниках тезисов докладов конференций и семинаров, получен 1 патент Республики Беларусь на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Общий объем диссертационной работы составляет 205 страниц, из них 146 страниц основного текста, 155 рисунков на 56 страницах, 24 таблицы на 11 страницах, библиографический список из 207 источников, включая 34 собственные публикации автора, на 22 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во **введении** определены основные направления исследований, представлена актуальность темы диссертации, показана необходимость проведения исследований порошкообразного шунгита для создания эффективных гибких конструкций экранов электромагнитного излучения.

В **первой главе** представлены результаты обзора технической и патентной информации, где показаны особенности взаимодействия электромагнитного излучения с нано- и макромолекулярными материалами. Взаимодействие электромагнитных волн с наноразмерными структурами основано на связи уравнений Максвелла и уравнения Шрёдингера, на методе

эффективных граничных условий для периодических структур с периодом, значительно меньшим длины волны в свободном пространстве.

На настоящий момент наноструктурированные ферромагнитные и влагосодержащие наноматериалы применяются для создания экранов ЭМИ широкого диапазона рабочих частот, однако недостатком таких экранов ЭМИ является сложность технологии изготовления. Перспективными для создания экранов электромагнитного излучения являются наноструктурированные углеродосодержащие материалы на основе технического углерода, графита, фуллерена, углеродных нанотрубок, нановолокон. К таким наноструктурированным углеродным материалам относится шунгит, состоящий из фуллереноподобного углерода с размером частиц 18–23 нм, распределенного в силикатной матрице. Шунгит обладает высокой проводимостью (265–1050 См/м), а значит, и экранирующими ЭМИ свойствами, и низкой стоимостью.

Наиболее актуальным 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 химического состава, структуры и свойств углеродосодержащих материалов.

Во **второй главе** представлена методика проведения термообработки порошкообразного наноструктурированного шунгита при температуре 900 °С в течение 2 ч в различных условиях (воздух, среда с добавлением хлорида аммония, вакуум), также приведено обоснование выбора минеральных и органических вяжущих материалов для создания экранов ЭМИ. Предложена методика создания коллоидных смесей на основе порошка шунгита с содержанием сульфат кальция (гипс, алебастр), хлорида кальция (или хлорида магния).

Для исследования характеристик ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 8–12 ГГц использовался панорамный измеритель ослабления и КСВН Я2Р–67 с ГКЧ–61, в диапазоне 0,7–17 ГГц – измерительный комплекс SNA 0,01–18. Для оценки ослабления мощности на основе вышеуказанного измерительного комплекса применяли измерители мощности ЭМИ РМ 0,01–39,5. Исследования спектральных характеристик яркости влагосодержащих капиллярно-пористых материалов в видимом (440–940 нм) и инфракрасном (1100–2300 нм) диапазоне длин волн проводились на гониометрической установке с использованием спектр-поляриметра Гемма МС–09.

В **третьей главе** представлены результаты исследования влияния среды в отжиговой камере на изменение фазового состава порошка

наноструктурированного шунгита при температуре 900 °С в течение 2 ч. Рентгенофазовый анализ показал идентификацию рентгенодифракционных максимумов, соответствующих веществу ортоклаз ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) (рисунок 1).

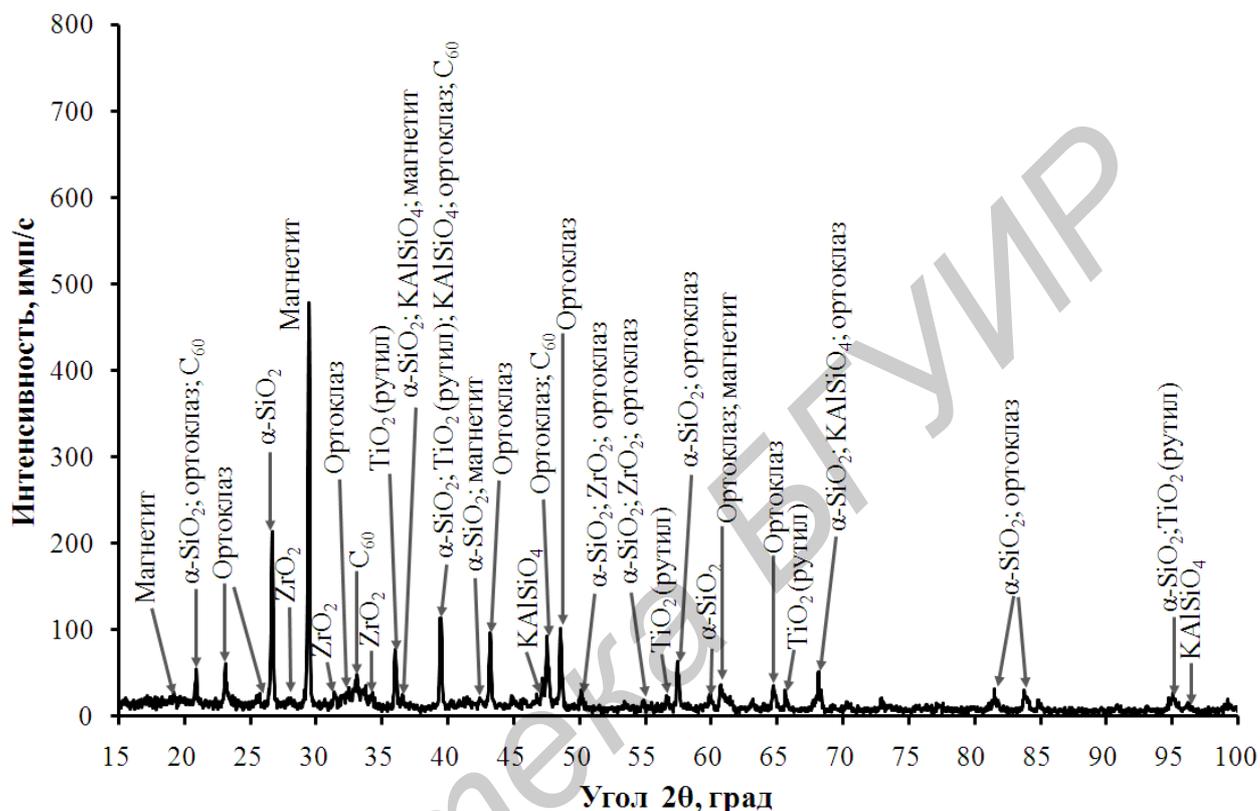


Рисунок 1. – Дифрактограмма шунгита, подвергнутого термообработке на воздухе при температуре 900 °С

Его образование объясняется испарением воды из мусковита ($KAl_3Si_3O_{11} \cdot H_2O$) при температуре выше 850 °С. Наибольшая массовая доля ортоклаза (68,8 %) образуется при термообработке на воздухе, так как при данных условиях диоксид кремния (SiO_2) взаимодействует с различными оксидами. Результаты рентгенофазового анализа показывают, что при термообработке на воздухе и в среде хлорида аммония происходит предположительно сгорание углерода. В отличие от других методов при термообработке в вакууме фуллереноподобный углерод размером 10 нм полностью сохраняется (таблица 1).

Для всех режимов термообработки установлено снижение коэффициента отражения, причем наименьшее значение получено для шунгита, подвергнутого термообработке в среде с добавлением хлорида аммония (−4,5... −7,7 дБ), при измерениях в режиме короткого замыкания значение коэффициента отражения наименьшее у шунгита, подвергнутого термообработке на воздухе (−1,5... −6 дБ).

Таблица 1. – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа порошков шунгита до и после термообработки

Название вещества	Химическая формула	Массовая доля в шунгите, %			
		до термообработки	после термообработки		
			на воздухе	в среде NH ₄ Cl	в вакууме
Ортоклаз	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	0	68,8	21,5	13,8
Диоксид кремния	SiO_2	50,1	8,6	16,7	14,1
Углерод	C	11,3	0	0	21,1
Фуллерен	C_{60}	18,8	0,9	0	25,2
Мусковит	$KAl_3Si_3O_{11} \cdot H_2O$	7,7	0	0	0
Оксид циркония	ZrO_2	1,1	5,8	0	3,4
Пеллиит	$CaMg_{0,22}Ba_2Al_{0,2}Fe_{1,48}Mn_{0,18}Zn_{0,12}Si_{5,8}O_{17}$	3,0	0	8,8	6,6
Карбонат железа	$FeCO_3$	0,5	0	0	11,2
Магнетит	$Ca_{0,01}Mg_{0,06}Al_{0,05}Fe_{2,1}Mn_{0,02}V_{0,01}Ti_{0,74}Si_{0,01}O_4$	4,4	10,9	34,9	0,8
Кальсилит	$KAlSiO_4$	0,2	2,4	0	2,2
Рутил	TiO_2	1,2	2,5	8,4	0,8
Анатаз	TiO_2	1,7	0	0	0,8
Соляная кислота	HCl	0	0	8,6	0

При термообработке порошков шунгита в других средах коэффициент передачи увеличился не более чем на 1 дБ (в режиме короткого замыкания), в то время как у исходного порошка шунгита коэффициент отражения изменялся в пределах от –2,5... –4 дБ. Коэффициент передачи у всех образцов, прошедших термическую обработку, практически одинаковый (–4,9... –8 дБ), однако у исходного порошка шунгита он имеет значения –17,5... –19,5 дБ при толщине конструкции экрана ЭМИ 3 мм.

Разработана новая методика создания коллоидных смесей на основе шунгита и сульфата кальция ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), введение таких смесей в состав насыщенного раствора хлорида кальция ($CaCl_2$) обеспечивает сохранение коллоидного состояния более 20 суток. Коэффициент передачи коллоидных шунгитосодержащих композитов составляет менее –40 дБ, коэффициент

отражения увеличивается при увеличении концентрации насыщенного раствора хлорида кальция (CaCl_2), при массовой доле 15 % раствора CaCl_2 коэффициент отражения составляет $-5,6 \dots -6$ дБ.

Разработан экранирующий материал на основе порошкового наноструктурированного шунгита и полимерного гидрогеля (рисунок 2). Формирование композиционного материала на основе порошка шунгита и полимерного гидрогеля позволяет снизить коэффициент передачи и коэффициент отражения электромагнитной энергии по сравнению с компонентами по отдельности. Композиционный материал на основе наноструктурированного шунгита и гидрогеля можно использовать для создания экранов ЭМИ, при этом рекомендуемое соотношение шунгита и гидрогеля составляет 1:1, так как при такой пропорции обеспечивается равномерная характеристика коэффициента отражения на уровне $-7,3 \dots -7,9$ дБ, коэффициент передачи составляет $-27 \dots -28,6$ дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц.

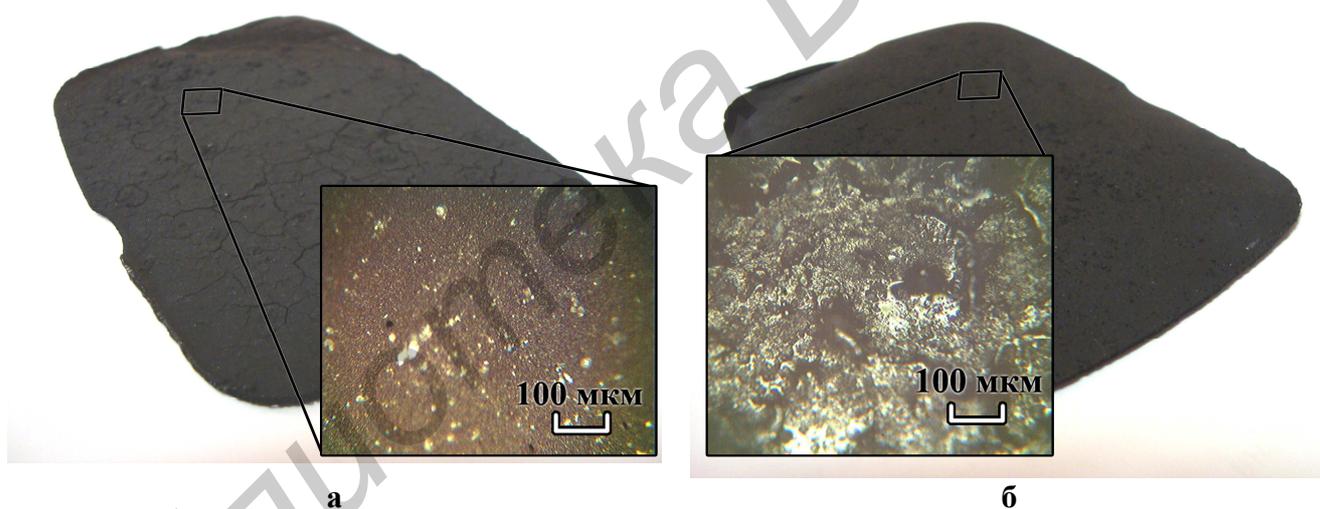


Рисунок 2. – Оптические микрофотографии рабочей поверхности (а) и обратной стороны (б) экранирующего материала на основе шунгитосодержащего гидрогеля

Введение в состав эмалевой краски наноструктурированного шунгита (20 %), титаномагнетита (20 %) и диоксида титана (TiO_2) (20 %) обеспечивает коэффициент отражения до $-6,2 \dots -8$ дБ. Создание шунгитосодержащих эпоксидных смесей с добавлением 20 % титаномагнетита и 20 % диоксида титана (TiO_2) обеспечивает отражение электромагнитного сигнала до $-12 \dots -14,5$ дБ.

Разработаны огнезащитные краски с добавлением шунгита и перлита. При нанесении такой краски на металлическую поверхность отражение ЭМИ составляет $-11,9 \dots -18,2$ дБ. При добавлении в краску шунгита, титаномагнетита и диоксида титана (TiO_2) коэффициент отражения составляет

–8,8... –13,3 дБ при нанесении на металлическую поверхность. При испытании открытым пламенем шунгитосодержащей огнезащитной краски образуется термоизолирующий слой, в составе которого обнаружен ортоклаз (62,8 %), образующийся при температуре более 850 °С. Термообработка открытым пламенем шунгитосодержащих огнезащитных красок приводит к образованию до 4 % поликристаллического кремния и сгоранию углерода на воздухе.

В четвертой главе представлены методики формирования шунгитосодержащих экранов ЭМИ. Модули экранов ЭМИ на основе шунгитосодержащей эмалевой краски представлены в двух исполнениях, с плоским основанием и основанием с геометрическими неоднородностями. Модули с геометрически неоднородной поверхностью обладают коэффициентом отражения –10... –12 дБ и коэффициентом передачи –4... –8 дБ в диапазоне частот 8,5–12,5 ГГц (рисунок 3).

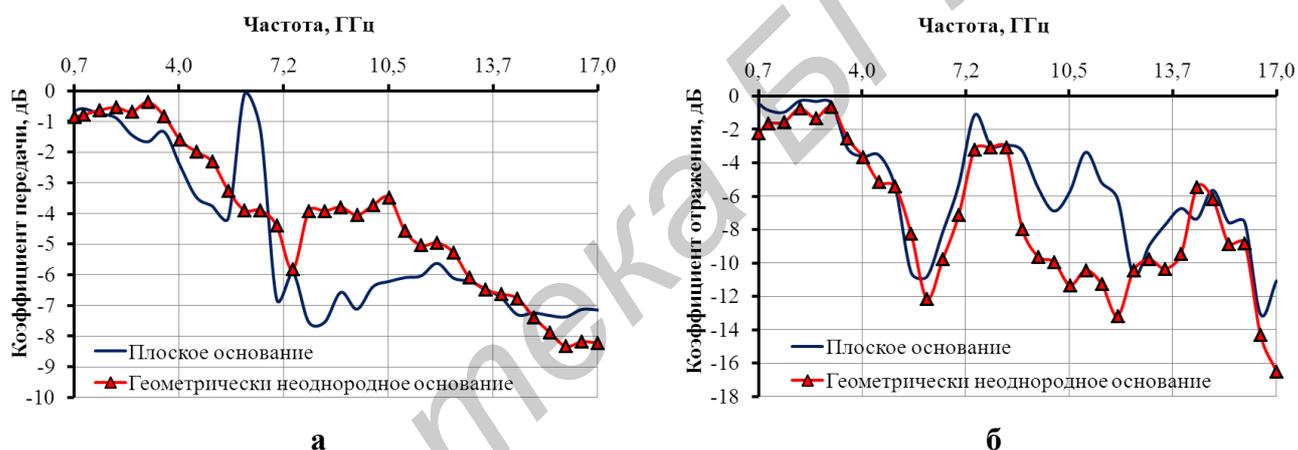


Рисунок 3. – Частотная зависимость коэффициента передачи (а) и коэффициента отражения (б) шунгитосодержащей краски, нанесенной на плоское основание и основание с геометрически неоднородной поверхностью, в диапазоне частот 0,7–17 ГГц

Показана возможность изменения коэффициента отражения при изменении толщины шунгитосодержащего эпоксидного композита. При толщине 3,5 мм обеспечивается резонанс с величиной коэффициента отражения –11,2 дБ на частоте 5 ГГц, при толщине 7 мм обеспечивается коэффициентом отражения –12,2 дБ на частоте 8–9 ГГц (рисунок 4).

Разработаны модули экранов ЭМИ на основе шунгитосодержащего эпоксидного композита с геометрическими неоднородностями, преимуществом данного типа модулей является незначительное изменение коэффициента отражения (1... 2 дБ) при установке металлического отражателя за модулем с геометрическими неоднородностями.

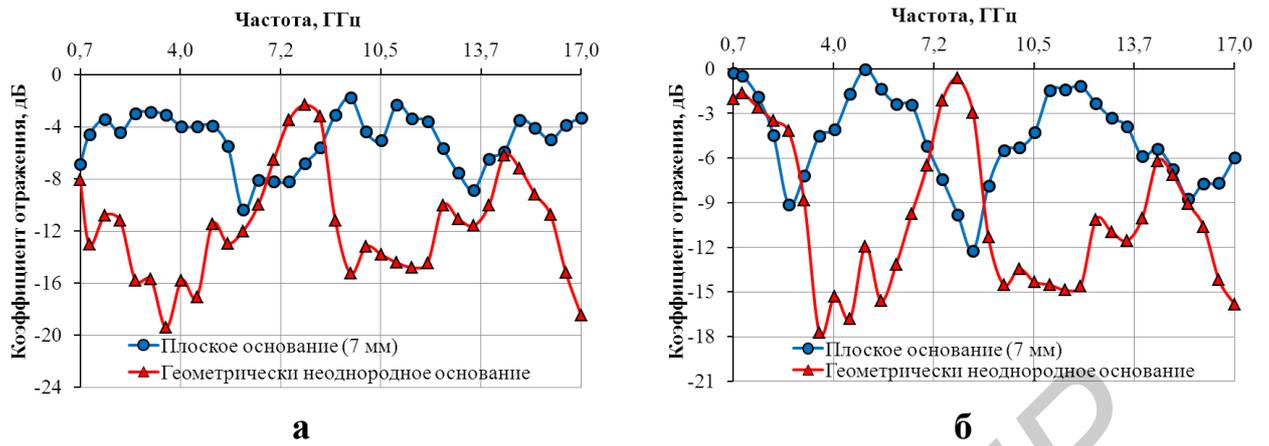


Рисунок 4. – Частотная зависимость коэффициента отражения шунгитосодержащего композита на основе эпоксидного клея, нанесенной на плоское основание и основание с геометрически неоднородной поверхностью, в режиме согласованной нагрузки (а) и в режиме короткого замыкания (б) в диапазоне частот 0,7–17 ГГц

Исследования спектрально-поляризационных свойств порошкообразного шунгита после термической обработки показали, что у всех порошков шунгита, подвергнутых термообработке, значение коэффициента спектральной яркости (КСЯ) выше, чем КСЯ наноструктурированного шунгита или активированного угля, что говорит о увеличении в составе вещества оксидов кремния и его образующих веществ и уменьшении процентного содержания углерода. Также вследствие термообработки шунгита в различных условиях степень поляризации уменьшается за счет удаления при больших температурах углеродных составляющих.

В результате термообработки порошка шунгита значение коэффициента спектральной яркости увеличивается от 0,02... 0,024 отн. ед. до 0,045... 0,062 отн. ед. в диапазоне длин волн 450–940 нм и 0,05... 0,09 отн. ед. в диапазоне длин волн 1300–2300 нм при температурной обработке в среде хлорида аммония, до 0,08... 0,085 отн. ед. в диапазоне длин волн 450–940 нм и 0,08... 0,1 отн. ед. в диапазоне длин волн 1300–2300 нм при температурной обработке в вакууме, до 0,09... 0,11 отн. ед. в диапазоне длин волн 450–940 нм и 0,1... 0,14 отн. ед. в диапазоне длин волн 1300–2300 нм при температурной обработке на воздухе (рисунок 5). Наименьшее значение степени поляризации (рисунок 6) получено для порошка шунгита, подвергнутого термообработке на воздухе (0,08... 0,091 отн. ед.) и среде с добавлением хлорида аммония (0,06... 0,087 отн. ед.). В зависимости от режима термообработки порошкообразный шунгит можно рекомендовать для создания материалов на его основе, позволяющих скрыть конструктивные особенности объектов на фоне черноземных и супесчаных почв.

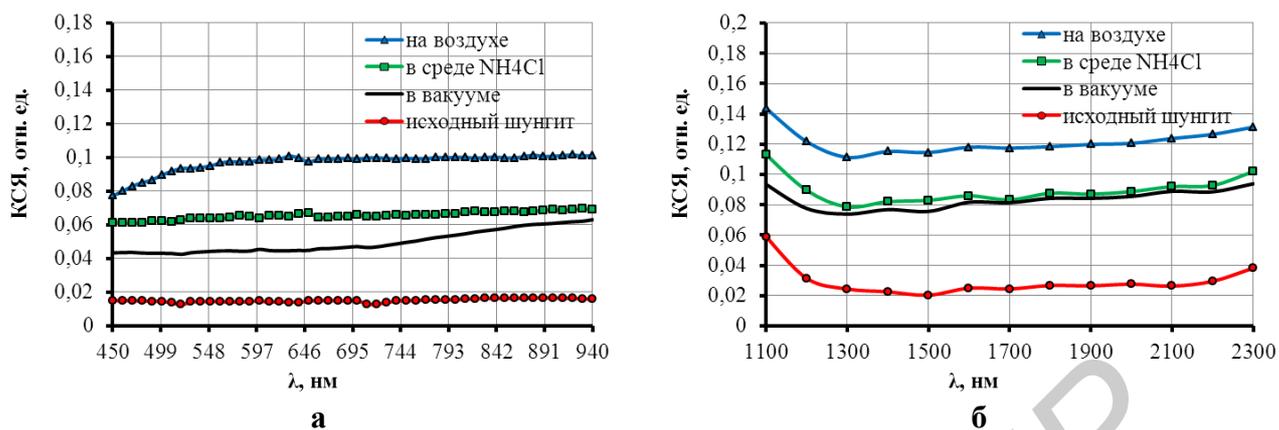


Рисунок 5. – Зависимость спектрального коэффициента яркости от длины волны в видимом (а) и инфракрасном (б) диапазоне для угла падения света 45° при угле наблюдения 45°

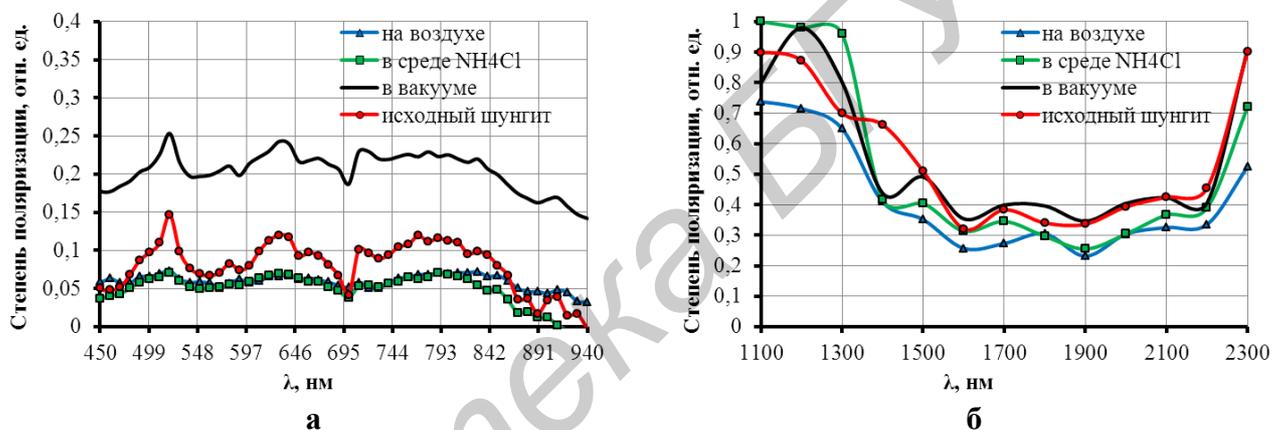


Рисунок 6. – Зависимость степени поляризации от длины волны в видимом (а) и инфракрасном (б) диапазоне для угла падения света 45° при угле наблюдения 45°

Разработано устройство для ослабления электромагнитного излучения сотовых телефонов, содержащее сменные модули из коллоидной смеси наноструктурированного шунгита, гипса и насыщенного водного раствора хлорида кальция, заключенной в герметизированные слои, равномерно распределенные по окружности головы человека в машинно-вязаной основе (рисунок 7). Данное устройство содержит поглощающие модули 5, равномерно распределенные по окружности головы человека 1 и плотно прилегающие к ней. Каждый из них представляет собой герметизированную полиэтиленом коллоидную смесь шунгита, гипса и насыщенного водного раствора хлорида кальция. Модули находятся в отдельных отсеках машинно-вязаной основы и являются сменными за счет фиксирующей отсеки пришивной контактной ленты 7. Устройство закрепляется на голове человека с помощью пришивной контактной ленты 6. Для свободного прохождения звуковой волны из динамика сотового телефона 3 в устройстве имеется отверстие 4 на уровне уха человека. На уровне уха человека присутствуют модули 2, которые могут принимать два

положения А и Б, при разговоре человека по сотовому телефону 3 модуль 2 находится в положении А, так что он полностью закрывает ухо человека, после окончания разговора модуль можно перевести в положение Б. Ослабление электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7–12 ГГц одним модулем с коллоидной смесью составляет более 40 дБ, коэффициент отражения составляет –1 дБ.

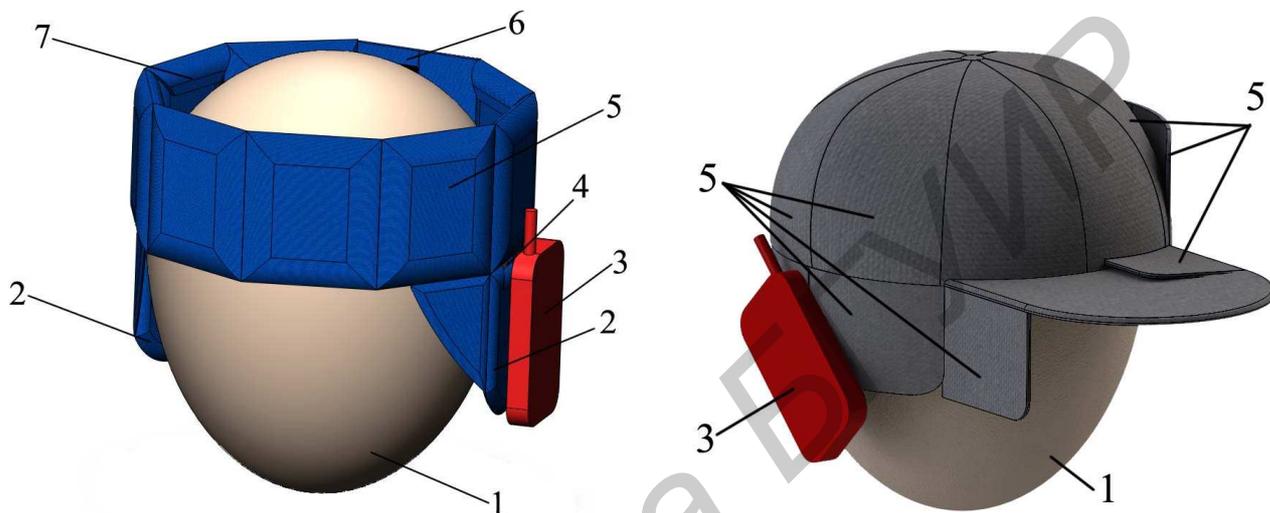


Рисунок 7. – Схематическое изображение устройства для ослабления электромагнитного излучения сотовых телефонов

Предложены объемно-порошковые шунгитосодержащие экраны ЭМИ в лавсан-полиэтиленовой пленке (рисунок 8). Вес 1 м² такого экрана составляет 3,4 кг.

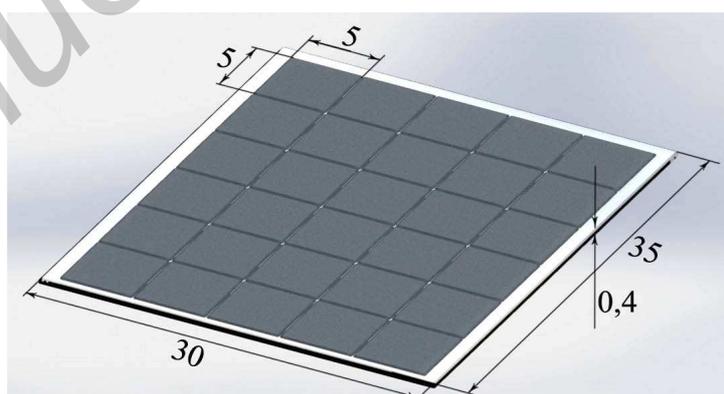


Рисунок 8. – Внешний вид и размеры (см) объемно-порошкового шунгитосодержащего экрана ЭМИ в двухслойной лавсан-полиэтиленовой пленке

Данная конструкция экрана обладает низкими массогабаритными параметрами, гибкостью и прочностью. За счет наличия проводящего порошка шунгита в каждой ячейке конструкции обеспечиваются экранирующие ЭМИ характеристики, коэффициент передачи на частотах 7–

17 ГГц составляет $-8... -10,8$ дБ, коэффициент отражения, измеренный в режиме короткого замыкания, составляет $-4,4... -13,8$ дБ в диапазоне 3,5–17 ГГц. Данную конструкцию экрана можно использовать для экранирования специальных помещений, содержащих оборудование, работающее в диапазонах свыше 4 ГГц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Показано, что модификация порошкообразного наноструктурированного шунгита термообработкой приводит к образованию ортоклаза с содержанием до 13 % при термообработке в вакууме ($900\text{ }^{\circ}\text{C}$); до 21 % при термообработке в атмосфере хлорида аммония ($900\text{ }^{\circ}\text{C}$); до 68 % при термообработке на воздухе ($900\text{ }^{\circ}\text{C}$), сохранению содержания фуллеренов при термообработке в вакууме и выгоранию углерода при термообработке в среде хлорида аммония и на воздухе. Анализ экранирующих характеристик образцов наноструктурированного шунгита, подвергнутых термообработке, показал, что коэффициент передачи электромагнитной энергии снижается с -20 дБ до -5 дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц для всех порошков шунгита, подвергнутых термообработке, коэффициент отражения снижается с -2 дБ до -6 дБ при термообработке на воздухе и в вакууме [1, 11, 15, 16, 18, 19, 30].

2. Разработана методика создания коллоидных смесей на основе наноструктурированного шунгита для создания экранов ЭМИ, введение в состав таких смесей хлорида кальция (CaCl_2) и сульфата кальция (CaSO_4) обеспечивает сохранение коллоидного состояния более 20 суток. Коэффициент передачи коллоидных шунгитосодержащих смесей составляет более 40 дБ, коэффициент отражения увеличивается при увеличении концентрации раствора хлорида кальция (CaCl_2), при массовой доле 15 % водного раствора CaCl_2 коэффициент отражения составляет $-5,6... -6$ дБ. Установлено, что коллоидные смеси на основе наноструктурированного шунгита и гипса, введенных в состав насыщенных водных растворов CaCl_2 и MgCl_2 , обеспечивают ослабление электромагнитного излучения более 35 дБ, коэффициент отражения изменяется в пределе $-5,3... -5,9$ дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц [2, 3, 7, 12, 17, 27, 28, 32, 33].

3. Проведен комплекс исследований по влиянию добавок порошка шунгита в состав красок и клеев на экранирующие электромагнитное излучение

свойства покрытий на их основе. Показано, что воздействие открытого пламени на поверхность шунгитосодержащих огнестойких красок приводит к образованию до 63 % ортоклаза, до 4 % поликристаллического кремния и наблюдается сгорание углерода на воздухе. Коэффициент передачи электромагнитной энергии увеличивается с -9 дБ до $-6,9$ дБ после воздействия открытого пламени, коэффициент отражения уменьшается с -4 дБ до -9 дБ [5, 10, 13, 20, 25].

4. Исследования спектрально-поляризационных характеристик материалов на основе наноструктурированного шунгита, подвергнутых высокотемпературной обработке, показали, что значение коэффициента спектральной яркости увеличивается от $0,02 \dots 0,024$ отн. ед. до $0,045 \dots 0,062$ отн. ед. в диапазоне длин волн $450\text{--}940$ нм и $0,05 \dots 0,09$ отн. ед. в диапазоне длин волн $1300\text{--}2300$ нм при температурной обработке в среде хлорида аммония, до $0,08 \dots 0,085$ отн. ед. в диапазоне длин волн $450\text{--}940$ нм и $0,08 \dots 0,1$ отн. ед. в диапазоне длин волн $1300\text{--}2300$ нм при температурной обработке в вакууме, до $0,09 \dots 0,11$ отн. ед. в диапазоне длин волн $450\text{--}940$ нм и $0,1 \dots 0,14$ отн. ед. в диапазоне длин волн $1300\text{--}2300$ нм при температурной обработке на воздухе. В зависимости от режима термообработки шунгит можно использовать в качестве углеродосодержащих материалов, позволяющих скрыть конструктивные особенности объектов на естественном фоне (черноземных, супесчаных, подзолистых и суглинистых почв) [9, 14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Термообработка в вакууме порошков наноструктурированного шунгита с размером фракций до 20 мкм приводит к образованию ортоклаза до $13,6$ % и сохранению фаз углерода, что позволяет рекомендовать его для использования при формировании шунгитосодержащих покрытий в составе композитов в условиях вакуумной термообработки [11, 16, 18, 30].

2. Представлены методики создания экранов электромагнитного излучения на основе шунгитосодержащих огнестойких и эмалевых красок. Модули экранов ЭМИ на основе шунгитосодержащей эмалевой краски (краска (40 %), шунгит (20 %) титаномагнетит (20 %) и диоксид титана (TiO_2) (20 %)), выполненные в двух исполнениях (с плоским основанием и основанием с геометрически неоднородной поверхностью) обладают коэффициентом отражения $-10 \dots -12$ дБ и коэффициентом передачи $-4 \dots -8$ дБ в диапазоне частот $8,5\text{--}12,5$ ГГц. Экраны электромагнитного излучения на основе огнестойкой краски (67 % краски, 11 % шунгита, титаномагнетита и диоксида

титана) имеют коэффициент отражения, измеренный в режиме короткого замыкания, порядка $-0,1... -12$ дБ, коэффициент передачи $-0,1... -5$ дБ [4, 5, 8, 21, 24].

3. Представлена методика создания экранов электромагнитного излучения на основе шунгитосодержащих эпоксидных композитов (шунгит (20 %), титаномагнетит (20 %) и диоксид титан (20 %)). Плоский экран электромагнитного излучения на основе шунгитосодержащего эпоксидного композита имеет коэффициент отражения, измеренный в режиме короткого замыкания, до $-12... -14,5$ дБ, для экрана с геометрически неоднородной поверхностью коэффициент отражения составляет $-0,6... -17,7$ дБ. Коэффициент передачи для шунгитосодержащей эпоксидной смеси, нанесенной на плоское основание, составляет $-1,6... -10,9$ дБ, для основания с геометрически неоднородной поверхностью составляет $-1,1... -16$ дБ [23, 26, 29, 32, 31, 34].

4. Разработаны экраны ЭМИ с основаниями с геометрически неоднородной поверхностью и слоистых структур (пенофол). Экраны ЭМИ с геометрически неоднородной поверхностью на основе огнестойких красок с добавками токопроводящих порошков имеют коэффициент отражения, измеренный в режиме короткого замыкания, порядка $-0,1... -12$ дБ. Конструкции экранов ЭМИ, основанные на нанесении огнестойкой краски с добавлением токопроводящих порошков на слоистую структуру, состоящую из вспененного полиэтилена, покрытого алюминиевой фольгой, обеспечивают коэффициент передачи менее -20 дБ и коэффициент отражения порядка $9-10$ дБ в диапазоне частот $8-15$ ГГц [3, 10, 22].

5. Представлена методика создания гибких экранов электромагнитного излучения на основе покрытий волокнистых материалов шунгитосодержащими смесями, экранирующее электромагнитное излучение шунгитосодержащее огнезащитное покрытие на основе иглопробивного полотна имеет коэффициент отражения в режиме короткого замыкания $-6... -15,3$ дБ, коэффициент передачи изменяется в пределах от $-2,3$ дБ до $-15,4$ дБ в диапазоне частот $9-17$ ГГц [4].

6. На основе шунгитосодержащих коллоидных смесей разработано устройство для ослабления электромагнитного излучения сотовых телефонов [6, 7, 17, 28, 33, 35].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Монографии

1. Комбинированные материалы для имитации естественных сред в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн для систем защиты информации / Омер Джамаль Саад Абулькасим, Е.С. Белоусова, О.В. Бойправ, Ю.В. Беляев, Л.М. Лыньков; под ред. Л.М. Лынькова. – Минск: Бестпринт, 2014. – 159 с.

Статьи в рецензируемых научных журналах

2. Махмуд, М.Ш. Электромагнитные характеристики экранирующих материалов на основе шунгитобетона, содержащего бишофит и хлорид кальция / М.Ш. Махмуд, Е.С. Белоусова, А.М. Прудник // Доклады БГУИР. – 2013. – № 1 (71). – С. 91–93.

3. Радиоэкранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов / Е.С. Белоусова, М.Ш. Махмуд, Л.М. Лыньков, Н.В. Насонова // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2013. – № 2 (24). – С. 56–67.

4. Отделочные композиционные материалы для создания экранированных защищенных помещений / Е.С. Белоусова, Н.В. Насонова, Т.А. Пулко, Л.М. Лыньков // Веснік сувязі. – 2013. – № 3 (119). – С. 47–51.

5. Белоусова, Е.С. Огнестойкое экранирующее покрытие на основе шунгитсодержащей краски / Е.С. Белоусова, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2013. – Т. 5, № 4. – С. 97–109.

6. Отделочный материал на основе шунгита для защиты биологических объектов от электромагнитных полей / М.Ш. Махмуд, Е.С. Белоусова, А.А. Казека, А.М. Прудник, Л.М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2014. – № 1 (79). – С. 89–92.

7. Композиционные материалы с проводящими и диэлектрическими компонентами для экранирования электромагнитного излучения СВЧ-диапазона / Е.С. Белоусова, Н.В. Насонова, Т.А. Пулко, Л.М. Лыньков // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В. Промышленность: прикладные науки. – 2014. – № 3. – С. 62–66.

8. Многослойные экраны электромагнитного излучения на основе вспученного перлитового песка и порошкообразных углеродосодержащих

материалов / О.В. Бойправ, Е.С. Белоусова, А.М.А. Мохамед // Доклады БГУИР. – 2014. – № 3 (81). – С. 27–32.

9. Белоусова, Е.С. Исследования спектрально-поляризационных свойств порошкообразного шунгита после термической обработки / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков // Труды МАИ. – 2014. – № 76. – С. 1–16.

10. Белоусова, Е.С. Анализ характеристик отражения и передачи электромагнитного излучения огнестойких красок с добавками токопроводящих порошков / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков // Приборы. – 2014. – № 7 (169). – С. 28–34.

11. Влияние термообработки порошка шунгита в вакууме на экранирование электромагнитного излучения / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков, В.Т. Сенють, Е.А. Криштопова // Доклады БГУИР. – 2014. – № 8 (86). – С. 31–35.

Статьи в сборниках материалов конференций

12. Влияние добавок бишофита на характеристики пирамидообразных экранов электромагнитного излучения для средств защиты информации и экологической безопасности / М.Ш. Махмуд, Е.С. Белоусова, А.М. Прудник, Л.М. Лыньков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы Международного научно-технического семинара, Минск, январь-декабрь 2012 г. / БГУИР ; редкол.: М.Н. Бобов [и др.]. – Минск, 2012. – С. 71–74.

13. Белоусова, Е.С. Исследование термического отжига шунгитовых красок / Е.С. Белоусова, М.Ш. Махмуд, Л.М. Лыньков / Актуальные вопросы физики и техники : материалы II Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов в 2 ч. Гомель, 18 апреля 2013 г. / ГГУ им. Ф. Скорины. – Гомель, 2013. – Ч. 1. – С. 15–18.

14. Белоусова, Е.С. Влияние режимов отжига на оптические свойства шунгита / Е.С. Белоусова, М.Ш. Махмуд // Физика конденсированного состояния «ФКС – XXI» : материалы XXI Международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 18–19 апреля 2013 г. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: Г.А. Хацкевич [и др.]. – Гродно, 2013. – С. 60–62.

15. Белоусова, Е.С. Модификация порошкообразного шунгита для использования в качестве экранов электромагнитного излучения / Е.С. Белоусова // Сборник материалов 49-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 6–10 мая 2013 г. / БГУИР. – Минск, 2013. – С. 3–4.

16. Воздействие термической обработки порошкообразного шунгита на характеристики взаимодействия с электромагнитным излучением / Е.С. Белоусова, Е.А. Криштопова, Л.М. Лыньков, Баругу Тонбара Генри // Инженерно-педагогическое образование: проблемы и пути развития : материалы Международной научно-технической конференции в 2 ч. Минск, 16–17 мая 2013 г. / УО МГВРК ; редкол.: С.Н. Анкуды [и др.]. – Минск, 2013. – Ч. 2. – С. 5–6.

17. Белоусова, Е.С. Пастообразные экранирующие электромагнитные излучения смеси на основе шунгита / Е.С. Белоусова, М.Ш. Махмуд, Л.М. Лыньков // Комплексная защита информации : материалы XVIII научно-практической конференции, Брест, 21–24 мая 2013 г. / Брест, 2013. – С. 109.

18. Belousova, E.S. Influence of different annealings on shungite shielding properties / E.S. Belousova, M.Sh. Mahmoud, L.M. Lynkou // Nanomeeting-2013 : proceedings of International Conference, Minsk, Belarus, 28–31 May, 2013 / ed.: V.E. Boricenko [et al.]. – Minsk, 2013. – P. 566–568.

19. Белоусова, Е.С. Исследование влияния термического отжига шунгита в среде хлорида аммония / Е.С. Белоусова, В.Т. Сенють, Л.М. Лыньков // СВЧ техники и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2013) : материалы 23-й Международной Крымской конференции, Севастополь, Украина, 8–13 сентября 2013 г. / Севастополь, 2013. – С. 794–795.

20. Белоусова, Е.С. Исследование зависимостей коэффициента отражения электромагнитного излучения шунгитсодержащих красок / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков // Современные средства связи : материалы XVIII Международной научно-технической конференции, Минск, 15–16 октября 2013 г. / УО ВГКС. – Минск, 2013. – С. 154–155.

21. Синтез порошкообразных материалов на основе перлита и шунгита для конструкций экранов электромагнитного / О.В. Бойправ, Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы Международного научно-технического семинара, Минск, апрель-декабрь 2013 г. / БГУИР ; редкол.: М.Н. Бобов [и др.]. – Минск, 2013. – С. 75–80.

22. Белоусова, Е.С. Градиентные экраны электромагнитного излучения на основе шунгитсодержащей краски / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков // Информационные системы и технологии: управление и безопасность : сборник статей II Международной заочной научно-практической конференции, Тольятти, декабрь 2013 г. / ПВГУС. – Тольятти, 2013. – С. 90–97.

23. Белоусова, Е.С. Шунгитсодержащие экраны электромагнитного излучения на основе эпоксидного клея / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков // Научные стремления : сборник материалов IV Международной научно-

технической молодежной конференции, Минск, 3–6 декабря 2013 г. / Минск, 2013. – С. 271–274.

24. Белоусова, Е.С. Экранирующая электромагнитное излучение шунгитсодержащая эмалевая краска / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков // Управление информационными ресурсами : материалы X Международной научно-технической конференции, Минск, 13 декабря 2013 г. / Акад. упр. при президенте Респ. Беларусь. – Минск, 2013. – С. 122–123.

25. Electromagnetic shielding properties of composite materials with filler based on powdered perlite and shungite / O.V. Voiprav, E.S. Belousova, L.M. Lynkou, T.V. Borbotko // 21 century: fundamental science and technology III : материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 23–24 января 2014 г. / США, 2014. – С. 179–182.

26. Белоусова, Е.С. Шунгитсодержащие эпоксидные смеси для экранов электромагнитного излучения / Е.С. Белоусова, Иджи Моболаджи Микаэль Олакунле // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР : материалы конференции в 2 ч. Минск, 18–19 марта 2014 г. / БГУИР ; редкол.: А.А. Кураев [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 1. – С. 334–335.

27. Белоусова, Е.С. Влияние жидкого наполнителя на экранирующие электромагнитные свойства шунгита / Е.С. Белоусова, Н.В. Насонова, Т.А. Пулко // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке : материалы 18-го Международного молодежного форума в 3 т., 14–18 апреля 2014 г. / ХРУРЭ. – Харьков, 2014. – Т. 3. – С. 196–197.

28. Белоусова, Е.С. Стабильность экранирующих свойств шунгитосодержащих коллоидных смесей / Е.С. Белоусова // Физика конденсированного состояния : материалы XXII Международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 18–19 апреля 2014 г. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: Г.А. Хацкевич [и др.]. – Гродно, 2014. – С. 73–75.

29. Белоусова, Е.С. Ослабление мощности электромагнитного излучения экранами на основе порошка шунгита в эпоксидном связующем / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков // ИНФОКОМ-2014 : материалы международной молодежной научно-практической конференции Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики в 2 ч. Ростов-на-Дону, 22–25 апреля 2014 г. / СКФ МТУСИ. – Ростов-на-Дону, 2014. – Ч. 1 – С. 151–154.

30. Белоусова, Е.С. Влияние высокотемпературного отжига на разрушение фуллеренов в шунгите / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков // Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах : материалы VIII

Международной научной конференции, Минск, 7–10 октября 2014 г. / Институт тепло- и массообмена. – Минск, 2014. – С. 210–215.

Тезисы докладов на научных конференциях

31. Элементы строительных конструкций на основе шунгита для подавления побочных электромагнитных излучений средств вычислительной техники / Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков, М.М. Иджи, И.А.К. Камил // Технические средства защиты информации : тезисы докладов XI Белорусско-российской научно-технической конференции, Минск, 5–6 мая 2013 г. / БГУИР – Минск, 2013. – С. 56.

32. Получение гибких гелеподобных шунгитосодержащих экранов электромагнитного излучения / Е.С. Белоусова, М.Ш. Махмуд, М.М. Иджи, М.В. Русакович // Технические средства защиты информации : тезисы докладов XI Белорусско-российской научно-технической конференции, Минск, 5–6 мая 2013 г. / БГУИР. – Минск, 2013. – С. 56–57.

33. Средства индивидуальной защиты от электромагнитного излучения технических средств обработки и передачи информации и генераторов электромагнитного зашумления / Е.С. Белоусова, Н.В. Насонова, И.А.К. Камил, Х.М. Алябад, М.В. Русакович // Технические средства защиты информации : тезисы докладов XI Белорусско-российской научно-технической конференции, Минск, 5–6 мая 2013 г. / БГУИР. – Минск, 2013. – С. 57.

34. Белоусова, Е.С. Градиентные экраны электромагнитного излучения на основе эпоксидного клея / Е.С. Белоусова // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2014 : материалы 10-й Международной молодежной научно-технической конференции, Севастополь, 12–17 мая 2014 г. / СевНТУ. – Севастополь, 2014. – С. 267.

Патенты

35. Устройство для ослабления электромагнитного излучения сотовых телефонов : пат. 10080 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01 Q 17/00 / Л.М. Лыньков, Н.В. Насонова, Т.В. Борботько, Е.С. Белоусова ; заявитель Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – № u 20130723 ; заявл. 06.09.2013 ; опубл. 30.04.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2 (97). – С. 161.



РЭЗІЮМЭ

Белавусава Алена Сяргееўна

Нанаструктураваныя экраны электрамагнітнага выпраменьвання на аснове шунгіту

Ключавыя словы: нанаматэрыял, тэрмаапрацоўка, шунгіт, экран электрамагнітнага выпраменьвання.

Мэта працы заключаецца ва ўсталяванні заканамернасцяў фізічных і хімічных працэсаў, якія адбываюцца ў парашкападобных матэрыялах на аснове нанаструктураванага шунгіту пры тэрмаапрацоўцы, і іх узаемадзеяння з электрамагнітным выпраменьваннем для стварэння экрану электрамагнітнага выпраменьвання.

Метады даследавання і апаратура: рэнтгенадыфракцыйнае даследаванне парашка нанаструктураванага шунгіту да і пасля тэрмаапрацоўкі на ўстаноўцы ДРОН–3М з выкарыстаннем CuK_α -выпраменьвання, даследаванне ўласцівасцяў матэрыялаў, якія экраніруюць электрамагнітнае выпраменьванне, і канструкцый на аснове парашкападобнага шунгіту ў дыяпазоне частот 8–12 ГГц з дапамогай панарамнага вымяральніка паслаблення і КСВН Я2Р–67 с ГКЧ–61, ў дыяпазоне 0,7–17 ГГц – вымяральнага комплексу SNA 0,01–18, для даследавання аптычных уласцівасцяў выкарыстоўваўся спектр-палярыметр Гемма МС–09.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: тэрмічная апрацоўка парашкоў нанаструктураванага шунгіту прыводзіць да ўтварэння ортаклазу, захаванню змяшчэння фулярэнаў пры тэрмаапрацоўцы ў вакууме і выгаранню вугляроду пры тэрмаапрацоўцы ў асяроддзі хларыду амонія і на паветры; устаноўлена захаванне калоіднага стану пры ўвядзенні парашкоў нанаструктураванага шунгіту і сульфату кальцыя ў склад насычаных водных раствораў CaCl_2 і MgCl_2 .

Ступень выкарыстання: распрацаваныя тэхналагічныя працэсы апрацоўкі тэкстыльных матэрыялаў вогнеўстойлівымі фарбамі з дабаўленнем парашка шунгіту прымяняюцца для вырабу экрану электрамагнітнага выпраменьвання ў ААТ «ЦНИИЛКА» (РФ), у лабараторных выпрабаваннях вогнеахоўных пакрыццяў у НДЛ 5.3 НДЧ БДУІР і ў навучальным працэсе БДУІР.

Вобласць прымянення: інфармацыйная бяспека, нанаматэрыялы.

РЕЗЮМЕ

Белоусова Елена Сергеевна

Наноструктурированные экраны электромагнитного излучения на основе шунгита

Ключевые слова: наноматериал, термообработка, шунгит, экран электромагнитного излучения.

Цель работы состоит в установлении закономерностей физико-химических процессов, происходящих в порошкообразных материалах на основе наноструктурированного шунгита при термообработке, и их взаимодействия с электромагнитным излучением для создания экранов электромагнитного излучения.

Методы исследования и аппаратура: рентгенодифракционное исследование порошка наноструктурированного шунгита до и после термообработки на установке ДРОН-3М с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения, исследование экранирующих электромагнитное излучение свойств материалов и конструкций на основе порошкообразного шунгита в диапазоне частот 8–12 ГГц с помощью панорамного измерителя ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61, в диапазоне 0,7–17 ГГц – измерительного комплекса SNA 0,01–18, для исследования оптических свойств использовался спектр-поляриметр Гемма МС-09.

Полученные результаты и их новизна: термообработка порошков наноструктурированного шунгита приводит к образованию ортоклаза, сохранению содержания фуллеренов при термообработке в вакууме и выгоранию углерода при термообработке в среде хлорида аммония и на воздухе; установлено сохранение коллоидного состояния при введении порошков наноструктурированного шунгита и сульфата кальция в состав насыщенных водных растворов CaCl_2 и MgCl_2 .

Степень использования: разработанные технологические процессы обработки текстильных материалов огнестойкими красками с добавлением порошка шунгита применяются для изготовления экранов электромагнитного излучения в ОАО «ЦНИИЛКА» (РФ), в лабораторных испытаниях огнезащитных покрытий в НИЛ 5.3 НИЧ БГУИР и в учебном процессе БГУИР.

Область применения: информационная безопасность, наноматериалы.

SUMMARY

Belousova Elena Sergeevna

Nanostructured electromagnetic radiation shields based on shungite

Key words: nanomaterial, heat treatment, shungite, electromagnetic radiation shield.

The purpose of the work is to establish the regularities of physical and chemical processes occurring in powder materials based on nanostructured shungite during heat treatment and interacting with electromagnetic radiation for the formation of electromagnetic radiation shields.

Research methods and equipment: X-ray diffraction investigations of nanostructured shungite powder before and after heat treatment using a DRON-3M with CuK_α -radiation, investigations of the electromagnetic radiation shielding properties of materials and structures based on powdered shungite in the frequency range of 8–12 GHz using the panoramic analyzer of voltage standing wave coefficient and attenuation YA2R-67 SWG-61; the measuring complex SNA 0.01–18 was applied in the range of 0.7–17 GHz; the spectropolarimeter Gemma MS-09 was used for investigation of the optical properties.

The results obtained and their novelty: heat treatment in vacuum of the nanostructured shungite powders leads to the formation of orthoclase and fullerene content preservation and the combustion of carbon during the heat treatment both in ammonium chloride and in the air; it has been found that the colloidal state is retained after adding nanostructured shungite powders and calcium sulphate into the saturated aqueous solutions of CaCl_2 and MgCl_2 .

Extent of usage: the developed processes of the treatment of textile materials by fireproof paint with powder shungite adding are used for making electromagnetic radiation shields in JSC “CNILKA” (Russian Federation), in laboratory testing of fire protective coatings at NIL 5.3 of R&D Department of BSUIR and in the educational process at BSUIR.

Field of application: information security, nanomaterials.

Белоусова Елена Сергеевна

**НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ШУНГИТА**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы

Подписано в печать 23.04.2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1,63. Уч. изд. л. 1,5. Тираж 60 экз. Заказ 120.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/238 от 24.03.2014,
№ 2/113 от 07.04.2014, № 3/615 от 07.04.2014.
ЛП № 02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6