

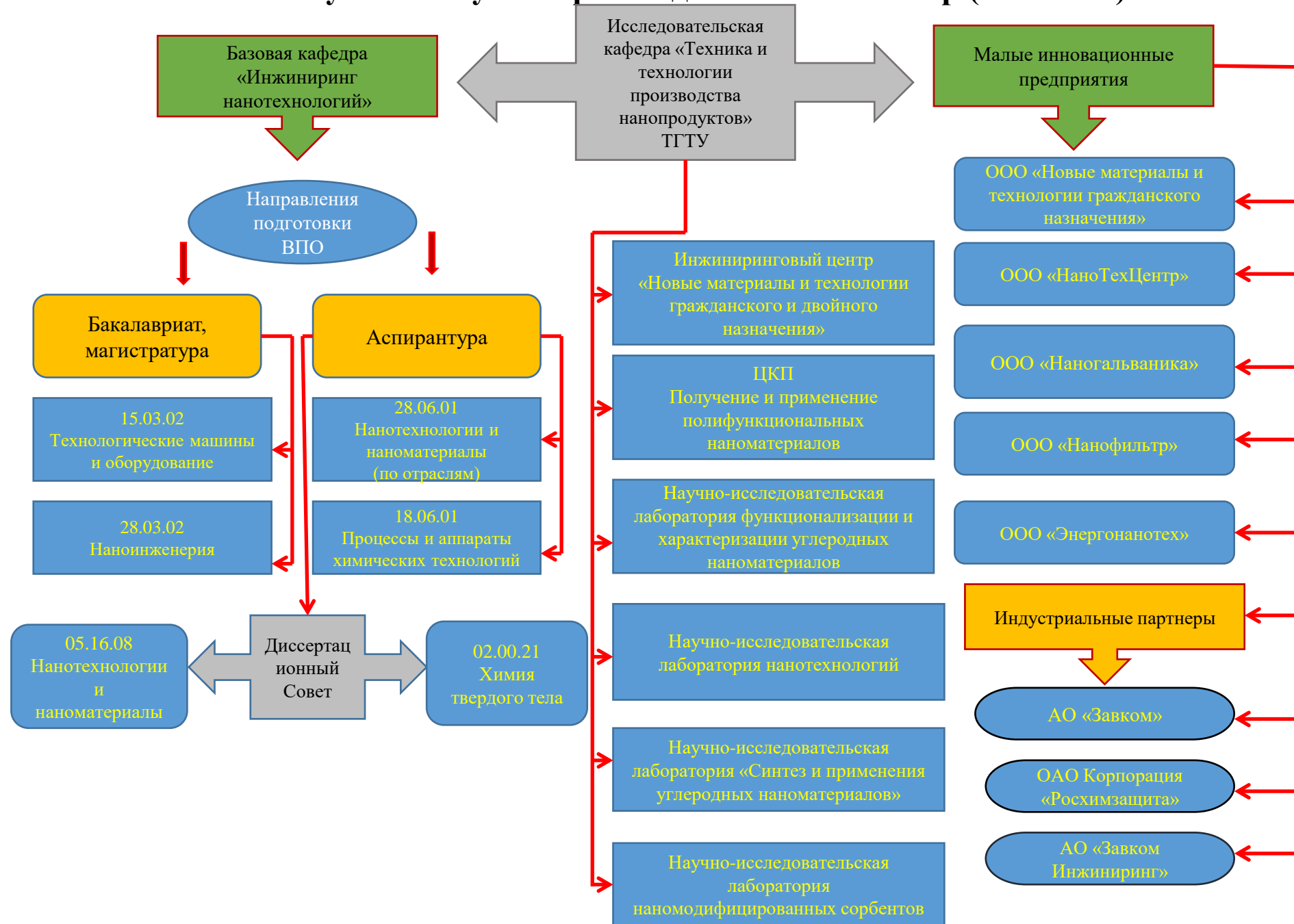
# Графеновые материалы: технологии, производство, применение

Тамбовский государственный технический университет  
[nanotam@yandex.ru](mailto:nanotam@yandex.ru)

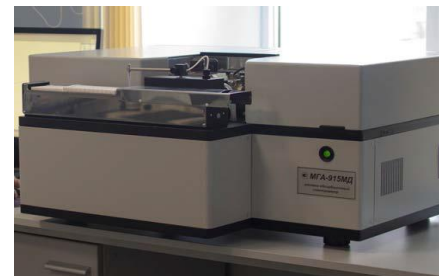
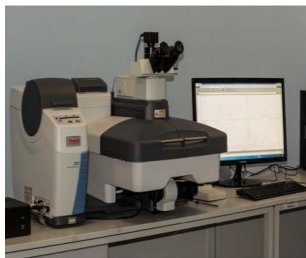
ООО НаноТехЦентр  
<http://nanotc.ru>

Россия, Тамбов, 2020

# Региональный учебно-научно-производственный кластер (г. Тамбов)

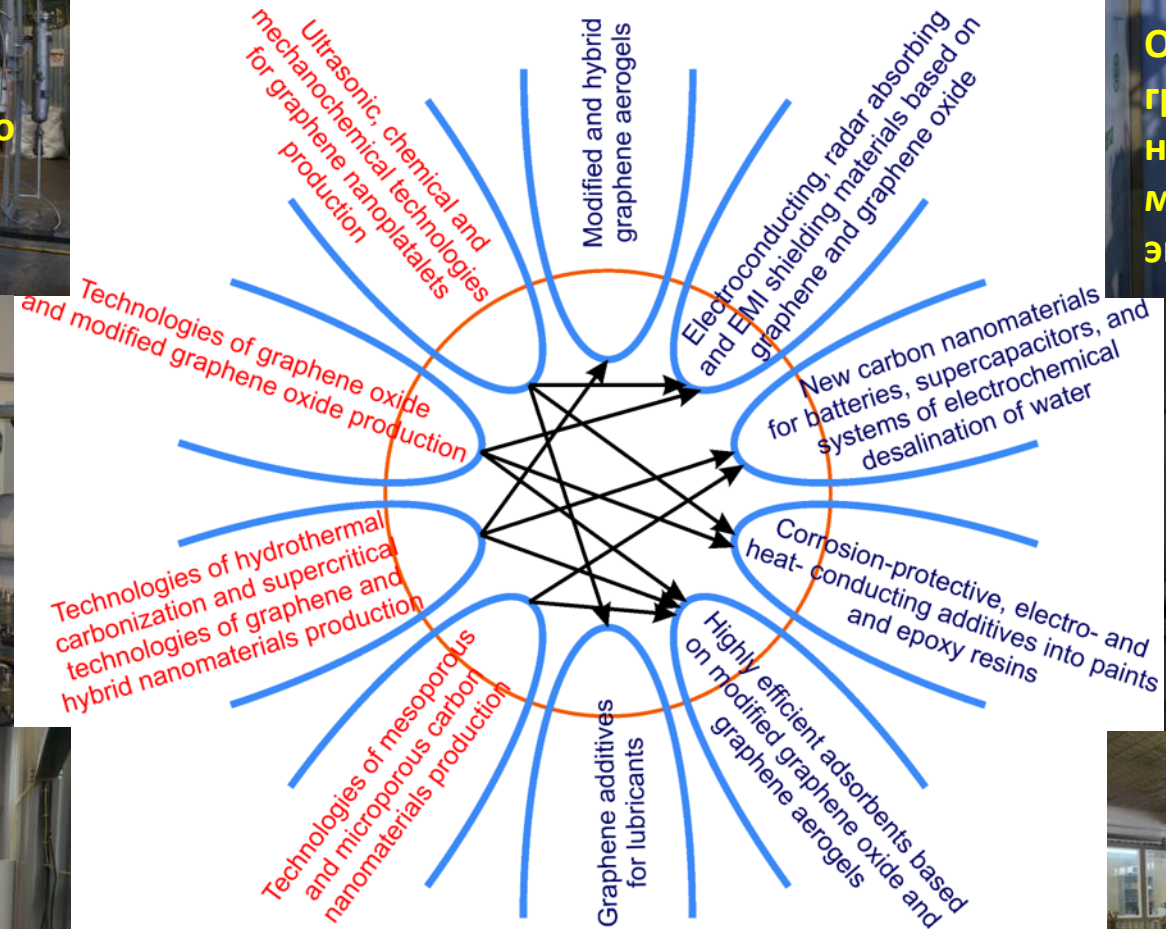


# Учебная и научно-исследовательская база





# Кластер графеновой тематики в ТГТУ и ООО НаноТехЦентр



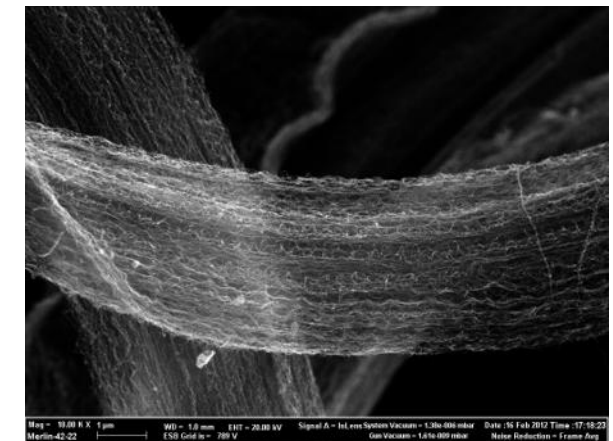
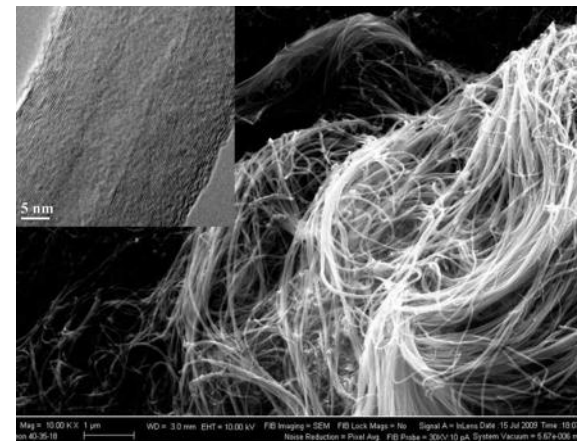




Линейка CVD-реакторов  
периодического действия



CVD-реактор  
непрерывного действия  
(патент России №99776)



## Углеродные нанотрубки серии Таунит:

Таунит, коническая структура, диаметр 20-70 нм. Таунит-М, цилиндрическая структура, диаметр 10-20 нм. Таунит-МД, цилиндрическая структура, диаметр 30-80 нм.

## Применение углеродных нанотрубок серии Таунит:

- Электропроводящие добавки в полимеры.
- Фильтры и мембраны для тонкой очистки газов и жидкостей.
- Упрочняющие добавки в бетон.
- Покрyтия, поглощающие и экранирующие электромагнитное излучение.
- Смазочно-восстанавливающие составы.
- Электропроводящие компоненты для химических источников тока.
- УНТ, модифицированные соединениями переходных металлов – катализаторы.
- Синергетические нанокомпозиты типа графен/углеродные нанотрубки в качестве электро-тепло-проводящих добавок в полимерные материалы.
- Водные коллоидные растворы для печати.

# Производство графеновых нанопластинок методом ультразвуковой эксфолиации графита



## Схема получения ГНП:

Графит → интеркалированный графит →  
ультразвуковая эксфолиация → графеновые  
нанопластины (ГНП).

Патент России №2657504.

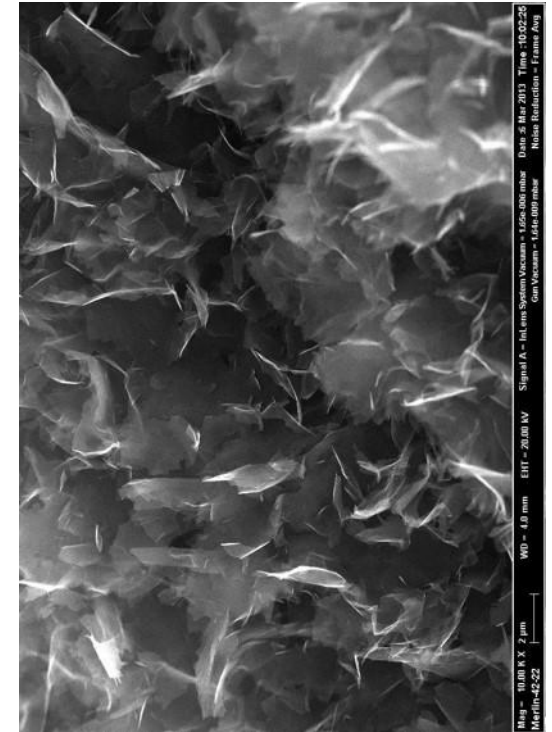
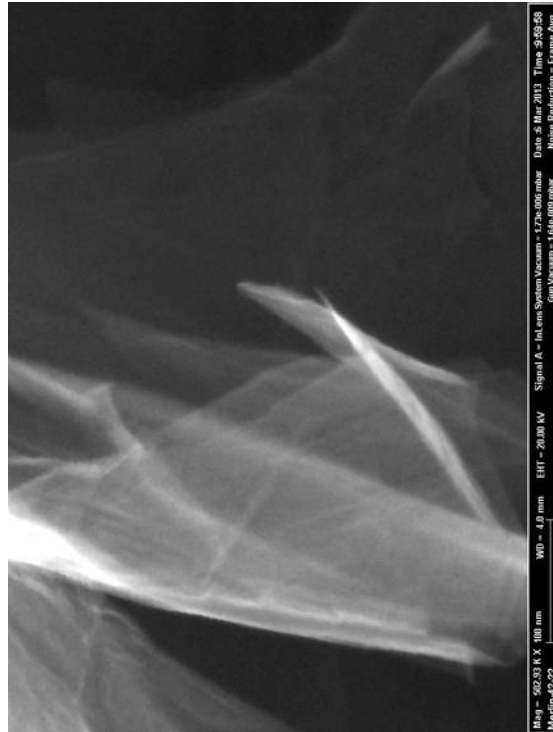
## Свойства ГНП:

Малослойные ГНП, 2-5 слоев.

Многослойные ГНП, 15-25 слоев.

Модифицированные ГНП.

Выпускаются в виде пасты в воде или  
минеральном масле.



## Применения ГНП:

- Материалы и покрытия, экранирующие электромагнитное излучение.
- Добавки в смазочные материалы.



# Опытная технология получения графеновых нанопластинок методом химической эксфолиации



## Схема получения ХЭГ:

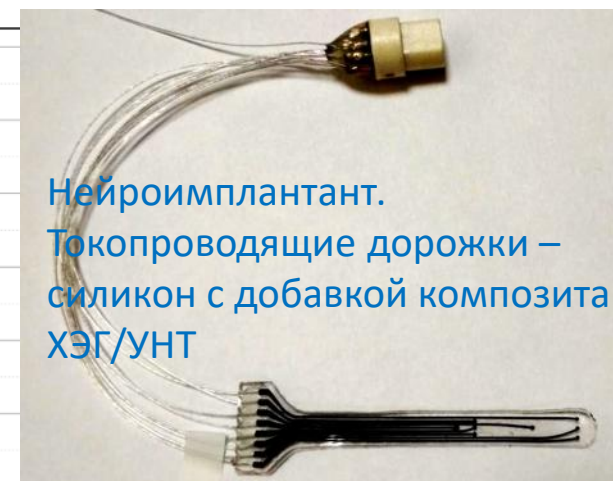
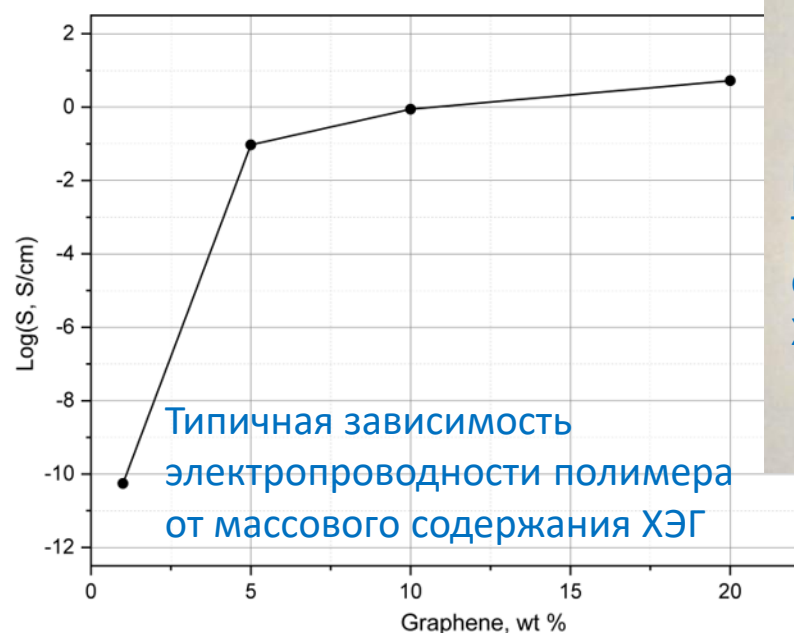
Графит → интеркалированный графит → химически эксфолированный графен (ХЭГ).  
Применения ультразвука не требуется.  
Патент России №2693755.

## Свойства ХЭГ:

Многослойный графен, 5-25 слоев.  
Выпускается в виде пасты в воде, ацетоне, толуоле.  
Также, выпускается композиционный порошковый продукт, содержащий ХЭГ и углеродные нанотрубки.  
Придает полимерам высокую электропроводность и теплопроводность, не вызывает охрупчивания.

## Применения ХЭГ:

- Полимеры с высокой электропроводностью и теплопроводностью.
- Повышение огнестойкости полимерных материалов.
- Материалы и покрытия, экранирующие электромагнитное излучение.
- Добавки в смазочные материалы.
- Электропроводящие нейроимплантаты.



# Технология производства оксида графена

Наша оригинальная модификация метода Хаммерса.  
Патент России №2709594.

## Схема технологического процесса:

1. Интеркалирование и пред-экслоиация графита прямо в реакционной смеси.
2. Окисление перманганатом в специальном температурном режиме при контролируемом содержании воды в системе.
3. Ускоренная промывка конечного продукта.

- Компьютерное управление процессом.
- Производительность реактора 200 г графита (=400 г сухого ОГ =40 литров 1%-ной водной дисперсии ОГ) за технологический цикл.
- Отсутствие нитрата, отсутствие выделения окислов азота.
- Отсутствие примесей недо-окисленного графита.
- Процесс экологически чистый, отходы перерабатываются.

## Применения оксида графена:

- Производство мезопористого углерода.
- Получение графеновых аэрогелей.
- Получение модифицированных форм оксида графена, растворимых в маслах и эпоксидной смоле.
- Получение нанокмпозиционных материалов типа графен/слоистые оксиды/гидроксиды переходных металлов для литиевых батарей.



Участок производства оксида графена  
в ООО НаноТехЦентр

- Антикоррозионные добавки в эпоксидные и другие краски.
- Оксид графена является поверхностно-активным веществом для эксфолиации графита, получения коллоидных растворов углеродных нанотрубок и графена.
- Упрочняющие добавки в полимерные композиционные материалы.
- Материалы, поглощающие и экранирующие электромагнитное излучение.
- Высокоэффективные адсорбенты для очистки воды.
- Носитель биологически активных веществ для обработки растений.



## Производство углеродных материалов с развитой поверхностью

Технологическая схема опытного производства микро- и мезо-пористых углеродов в ООО НаноТехЦентр включает активацию углеродсодержащих веществ гидроксидом калия. В зависимости от применяемого сырья и условий активации получаются микро- или мезо-пористые углеродные материалы (Таблица).



| Исходные вещества       | Тип получаемого углерода, диапазон размеров пор | Удельная поверхность по БЭТ, м <sup>2</sup> /г |
|-------------------------|---|--|
| Фурфурол, гидрохинон    | Микропористый, <2 нм                            | 2000-3000                                      |
| Декстрин, оксид графена | Микропористый, <2 нм,<br>Мезопористый, 1-6 нм   | 3000-3500                                      |
| Поликумулен             | Мезопористый, 1-6 нм                            | 5000-5300                                      |

### Применения микро- и мезопористых углеродных материалов:

- Суперконденсаторы, удельная емкость до 140 Ф/г в органических электролитах.
- Системы электрохимического обессоливания воды.
- Адсорбенты для очистки воды.
- Адсорбенты различного назначения, на порядок превосходящие обычные активные угли.
- Адсорбенты для хранения метана.

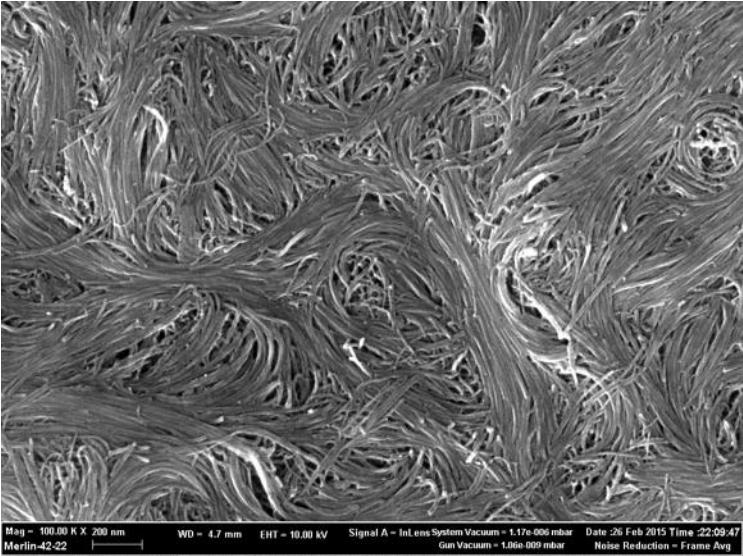
Патент России №2620404

## Модифицированные углеродные наноматериалы (лабораторные или опытные технологии)

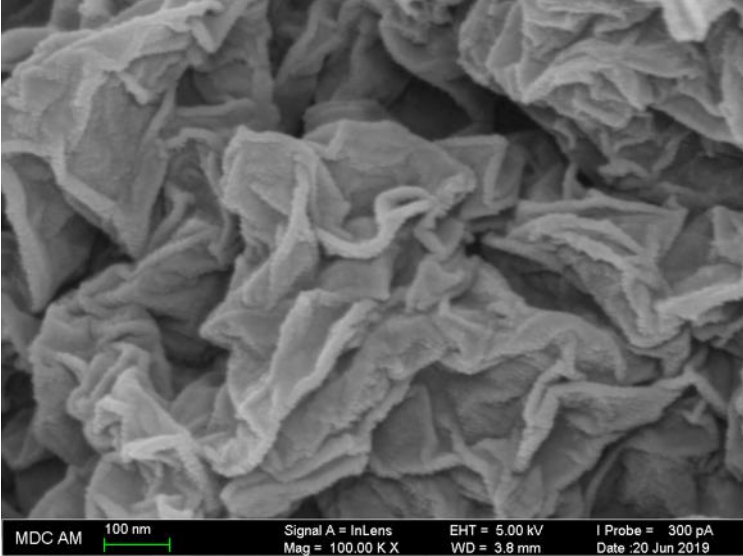
| Углеродный материал  | Модификаторы, декорирование, функционализация                                 | Форма  | Применение  |
|----------------------|---|--|---|
| Нанотрубки           | Окисные группы (карбоксильные, гидроксильные, карбонильные, эпоксидные)       | Порошок, водная паста или суспензия                                | Добавки в полимеры                                    |
|                      | Наночастицы оксидов переходных металлов (Mn, Fe, Cu, Ni, Co, и др.)           | Порошок. Опционально, гидрофобизованный                            | Катализаторы, химические источники тока               |
|                      | Полианилин  | Порошок  | Добавки в полимеры                                    |
|                      | Стеариновая кислота, октадециламин  | Гидрофобный порошок  | Добавки в полимеры                                    |
|                      | Сера  | Порошок  | Добавки в резиновые смеси                             |
|                      | Фенолформальдегидная смола  | Коллоидный водный раствор  | Чернила для печати                                    |
| Оксид графена        | Октадециламин, полиэтиленполиамин, полианилин                                 | Концентрат в эпоксидной смоле с содержанием активной добавки 5-10% | Антикоррозионные добавки в эпоксидные и другие краски |
| Графен               | $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$                                 | Аэрогель или паста   | Катализаторы, адсорбенты                              |
|                      | Полигидрохинон  | Порошок  | Адсорбенты  |
|                      | Полианилин  | Аэрогель или паста   | Адсорбенты, антикоррозионные добавки в краски         |
|                      | Фенолформальдегидная смола  | Водная паста или суспензия   | Радиопоглощающие материалы                            |
| Мезопористый углерод | $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ или комбинации оксидов металлов | Порошок  | Катализаторы, адсорбенты                              |

Синергетические композиции углеродных наноматериалов (лабораторные или опытные технологии)

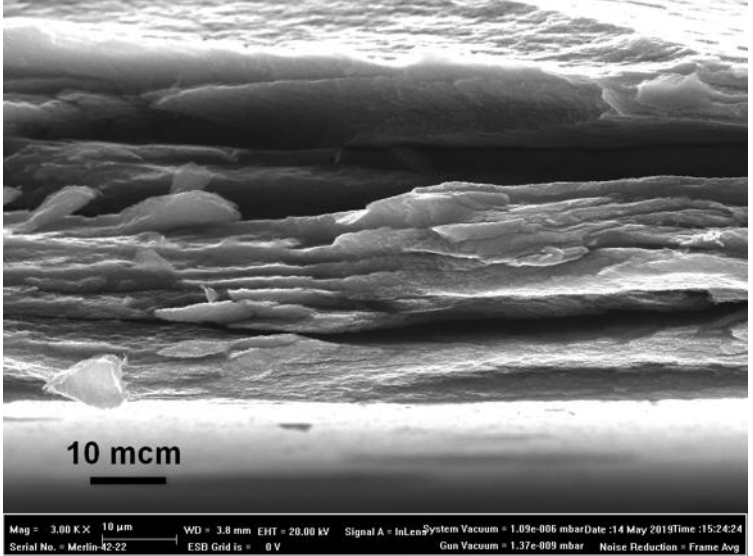
| Материал  | Свойства   | Применение  |
|---|--|---|
| Углеродные нанотрубки/оксид графена                 | Концентрированные водные растворы до 2% УНТ, выше 3% УНТ - гомогенные гели; обратимый переход золь-гель при встряхивании | Покрытия, поглощающие или не отражающие электромагнитное излучение; получение нанокомпозиционных материалов |
| Графен химической эксфолиации/углеродные нанотрубки | Легкий порошок, хорошо распределяется в полимерах  | Электро-тепло-проводящие, радиоэкранирующие полимерные материалы  |



Пленка, полученная высушиванием коллоидной дисперсии 80% УНТ Таунит-М + 20% фенолформальдегидной смолы



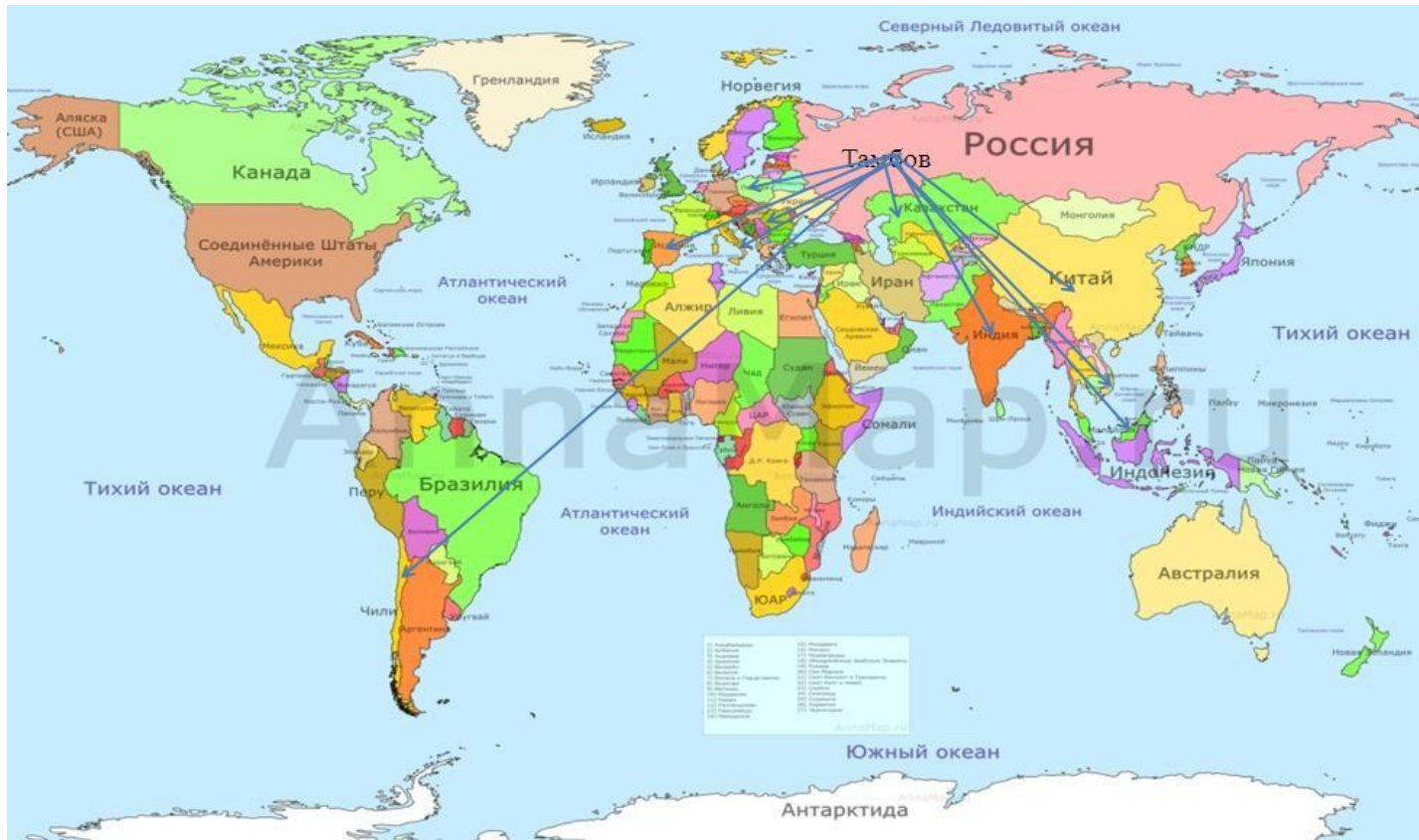
Аэрогель Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/графен



Пленка, полученная высушиванием коллоидной дисперсии 80% УНТ Таунит-М + 20% оксида графена (вид излома)



# Международное сотрудничество



Китай, Тяньцзинь 2017



Испания, Барселона 2015



Франция, Париж 2016



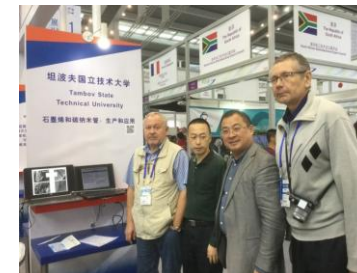
Китай, Нанкин 2017



Китай, Цзянсу 2017



Япония, Токио 2015



Китай, Шеньчжень 2016



Болгария, Варна 2015



Объем выполненных госбюджетных и хоздоговорных работ  
**более 160 млн. руб.**

Количество  
опубликованных статей

**215**

Из них  
140 – Web of Science,  
Scopus

Защищенные  
диссертации

**13**

Участие в выставках

**23**

Полученные награды

**25**

Количество полученных  
патентов

**84**

Открытые МИП

**5**

Количество  
сотрудников

45

Профессорско-  
преподаватель-  
ский состав

22

Докторов наук,  
профессоров

12

Кандидатов  
наук, доцентов

16

Докторантов,  
аспирантов  
и соискателей

17



Спасибо за внимание.  
Надеемся на плодотворное сотрудничество.

[nanotam@yandex.ru](mailto:nanotam@yandex.ru)

