

# ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ

## НАНОАЛМАЗНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РТИ

**Тема 1.1. Наноалмазы: структура и свойства. Основные способы получения наноалмазов. Отечественный и мировой опыт разработки способов получения наноалмазов. Тенденции развития рынка наноалмазов.**

*Авторы:*

*Соколова М.Д., д.т.н., зав. лаб. материаловедения ФГБУН ИПНГ СО РАН*

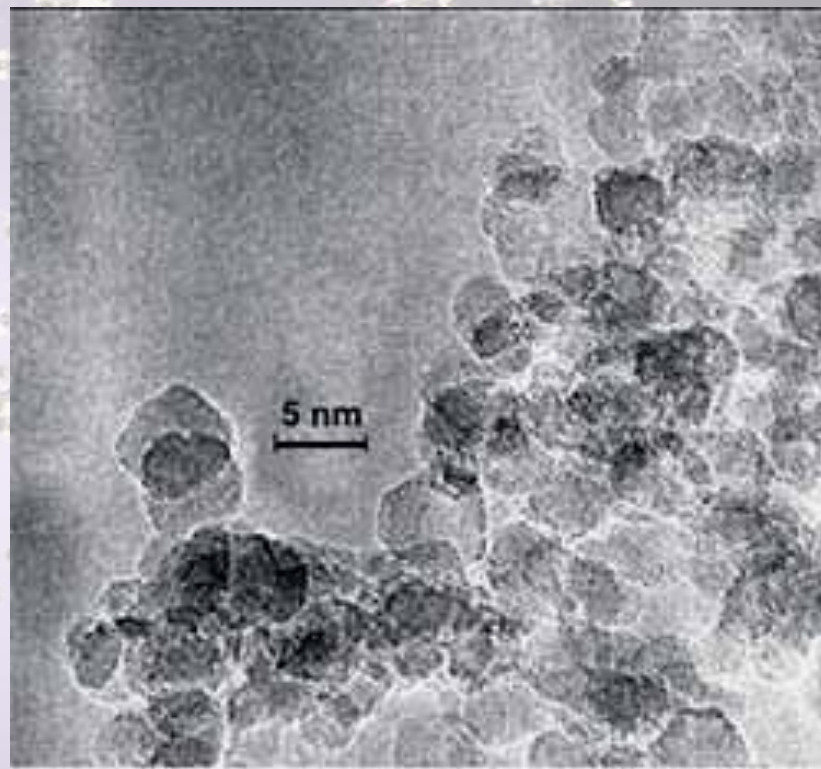
*Давыдова М.Л., к.т.н., с.н.с. ФГБУН ИПНГ СО РАН*

*Христофорова А.А, н.с. ФГБУН ИПНГ СО РАН*

*Шадрин Н.В., к.т.н., с.н.с. ФГБУН ИПНГ СО РАН*

## Наноалмазы

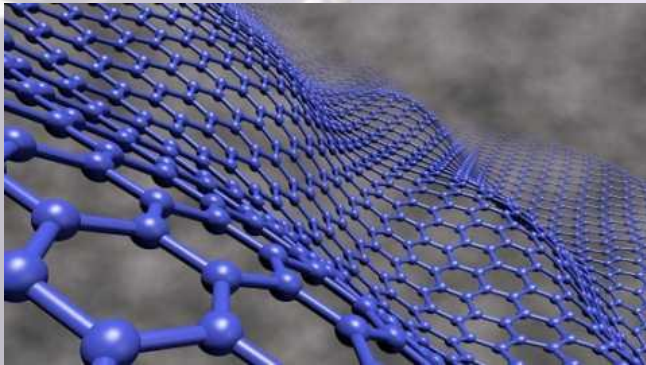
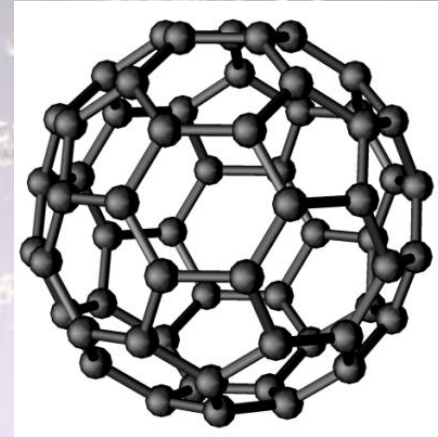
**НАНОАЛМАЗ** — углеродная наноструктура. Имеет кристаллическую решётку типа алмаза. Характерный размер одного нанокристалла 10—100 ангстрем. Наноалмазы или ультрадисперсные алмазы можно рассматривать как специфический наноуглеродный материал, входящий в обширное и все более популярное семейство наноуглеродных кластеров, состоящее из фуллеренов, нанотрубок, графита, «луковичной» формы углерода.



АО ФНПЦ «Алтай» <http://frpc.secna.ru/uda/index.php>

# Нобелевские и Шнобелевская премии за нанотрубки

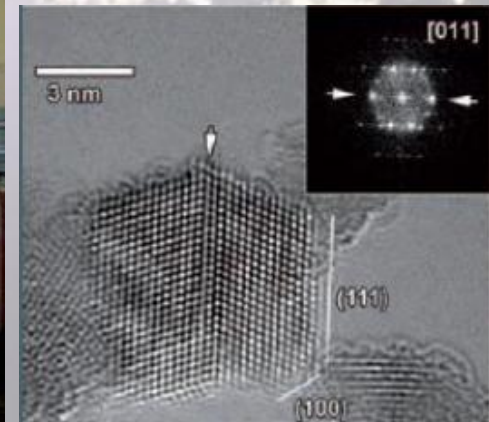
**Фуллерен:** Нобелевская  
премия по химии, 1996 г (Лурл,  
Крото, Смолли)



**Графен:** Нобелевская  
премия по физике,  
2010 г. (Гейм, Новоселов)

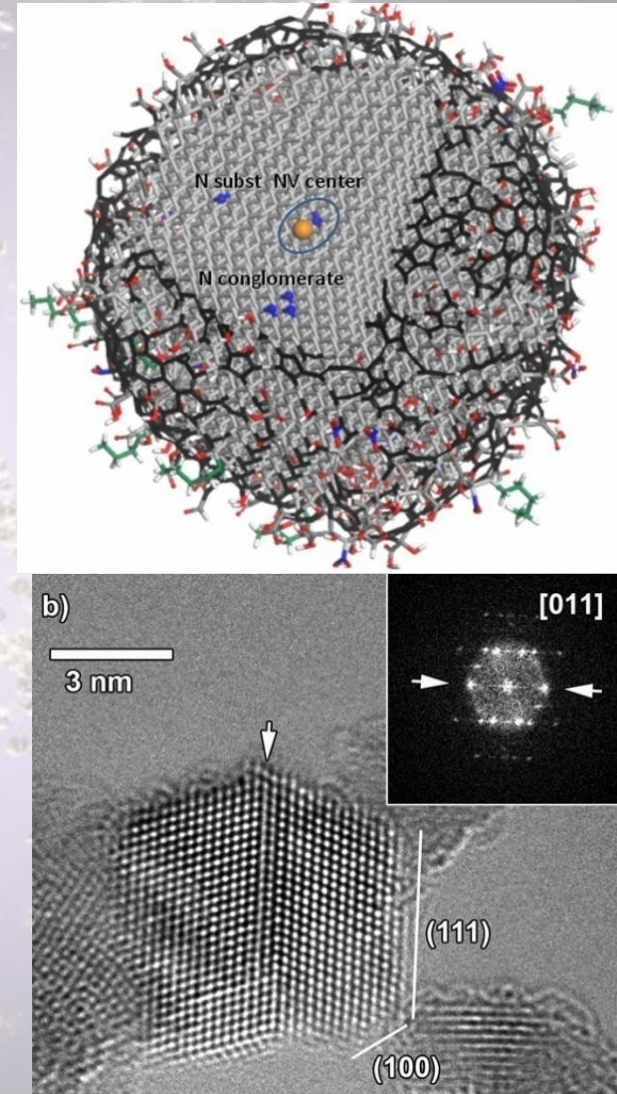
**Наноалмаз:** Шнобелевская  
премия мира, 2012 (SKN  
Company, Петров)

[http://www.bbc.com/russian/international/2012/09/120919\\_ignobel\\_prize\\_2012](http://www.bbc.com/russian/international/2012/09/120919_ignobel_prize_2012)



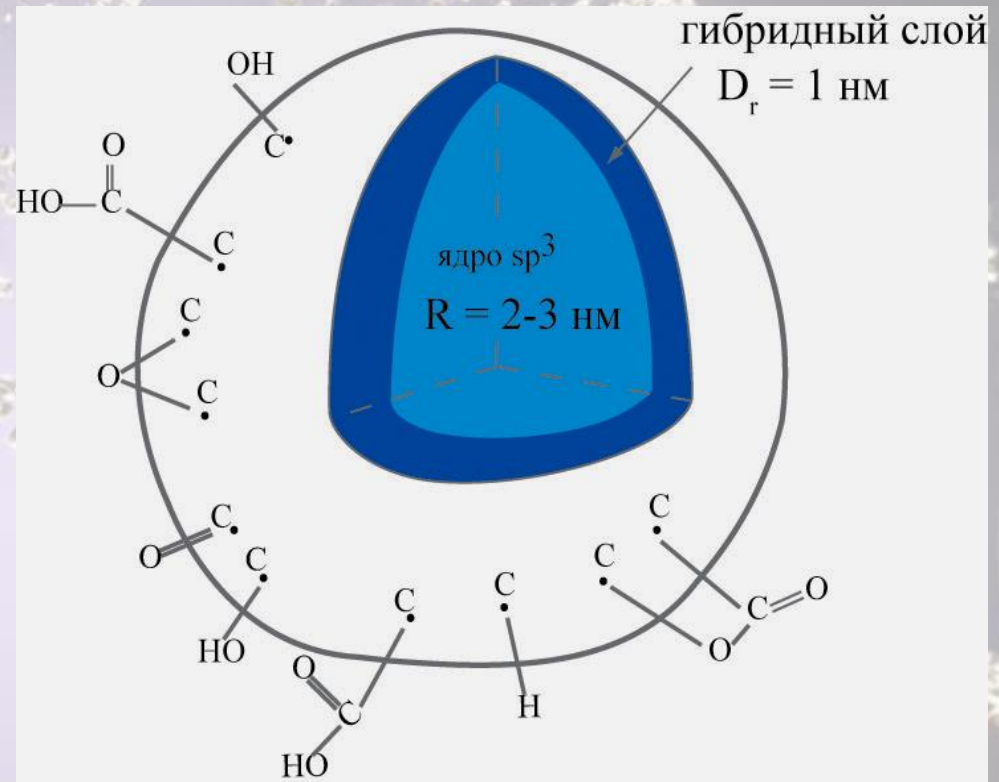
## Структура и свойства

- Размеры частиц достигают 3-5 нм (большая удельная площадь 250-450 м<sup>2</sup>/г)
- Химически инертен
- Нетоксичен и биосовместим
- активная поверхность: может быть адаптирована для различного применения
- Может иметь высокое поверхностное натяжение (высокая коллоидная стабильность)
- Высокая термостойкость;
- Обладает функциональными дефектами в решетке
- Производится в больших количествах (тонны / год)

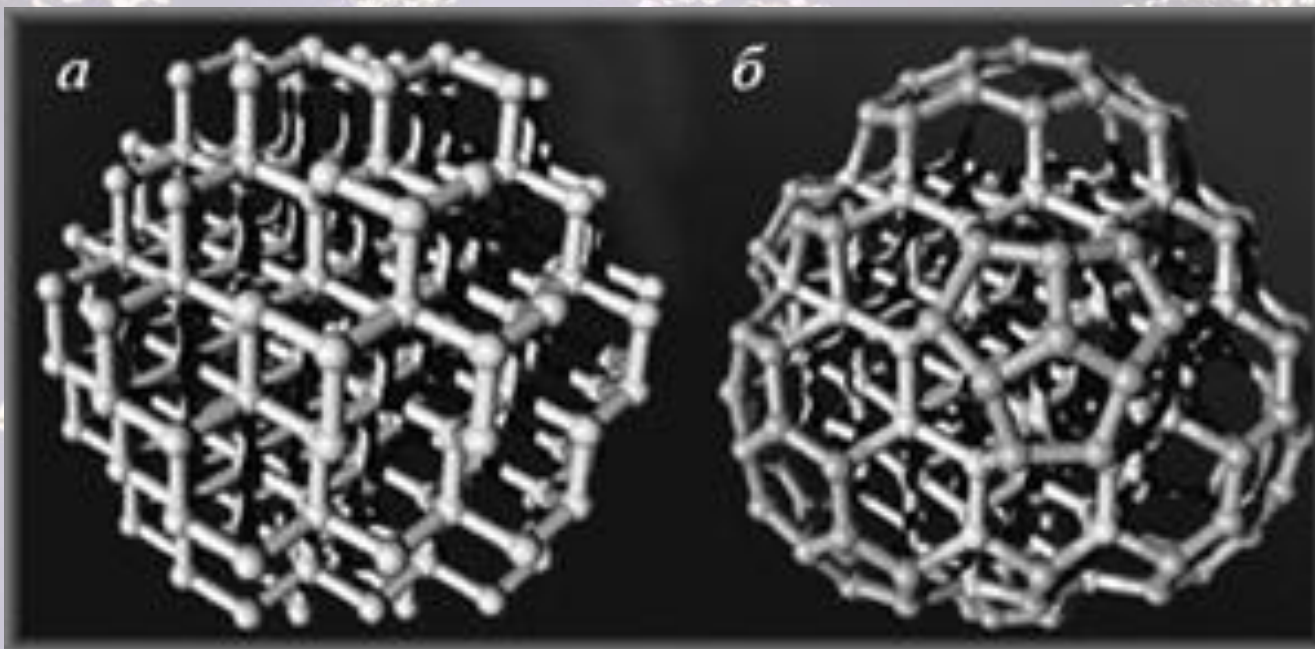


[Vadym N. Mochalin](#), [Olga Shenderova](#), [Dean Ho](#) & [Yury Gogotsi](#) The properties and applications of nanodiamonds // Nature Nanotechnology 7, 11–23 (2012)

Кристаллит НА состоит из алмазного ядра (размер 1–10 нм), в котором атомы углерода находятся в  $sp^3$ -гибридном состоянии, покрытого оболочкой луковичного углерода, в котором атомы углерода находятся в  $sp^2$ -гибридном состоянии. Между ними может находиться гибридный слой, в котором атомы углерода находятся как в состоянии  $sp^3$ , так и в состоянии  $sp^2$ -гибридизации.



Vul Ya., Aleksenskiy A. E., Dideykin A. T. Detonation nanodiamonds: technology, properties and applications // Nanosciences and Nanotechnologies / Ed. by V. N. Kharkin, C. Bai, S.-C. Kim. In: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Developed under the Auspices of the UNESCO. — Eolss Publishers, Oxford, UK, 2009.



**Объемная структура алмаза (а); наночастица алмаза с фуллереноподобной поверхностью (б)**

В.В.ЕРЕМИН Углеродные наноматериалы. Курс лекций  
[http://him.1september.ru/view\\_article.php?ID=200902002](http://him.1september.ru/view_article.php?ID=200902002)

***Большая доля связей на поверхности наноалмазов приводит к тому, что она очень активна!***

# Основные способы получения наноалмазов

## Способы получения наноалмазов

Детонационный синтез

Электрохимическое осаждение на аноде

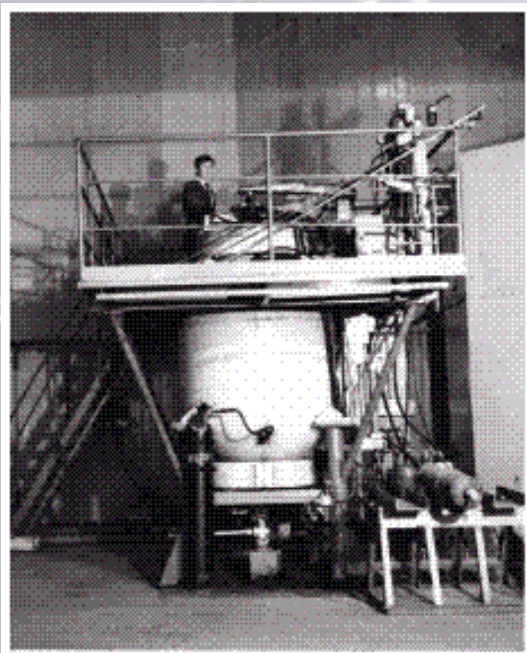
Синтез при сверхвысоких давлениях и температурах;

Получение из природных алмазов физическими методами;

Химическое осаждение углеродосодержащего пара при высоких температурах  
и давлениях;

Электронно- и ионно-лучевые методы, использующие облучение  
углеродсодержащего материала пучками электронов и ионами аргона;

**Технология получения наноалмазов подразделяется на два основных этапа:**



**Первый этап:** получение ультрадисперсных алмазографитовых порошков



**Второй этап:** химическая очистка



## Отечественный и мировой опыт разработки способов получения наноалмазов

Авторы	Год	Содержание работы
Ю.Н. Рябинин	1956	Неудачные попытки динамического синтеза
Е.И. Забабахин (ВНИИТФ)	1960	Обоснование возможности синтеза алмаза ударным сжатием графита, начало экспериментальных работ в ВНИИТФ
В.Ј. Alder, R.H. Christian	1961	Получение ударной адиабаты графита и вывод о его превращении в алмаз
М.Н. Павловский (ВНИИЭФ)	1963	
К.К. Крупников (ВНИИТФ)		
А.Н. Дремин, С.В. Першин (ИХФ)	1968	Синтез алмаза с сохранением ударно-сжатого графита в плоской ампуле
Р.Ј. De Carli, А.С. Jamisson	1961	
К.В. Волков, В.В. Даниленко, В.И. Елин (ВНИИТФ)	1962	То же в сферических и цилиндрических ампулах (выход алмаза ~ 2%)
	1963	Синтез алмаза сжатием смесей графит + Ме, сажа + Ме, (выход алмаза ~ 20%)
	1963	Синтез УДА из углерода продуктов взрыва (выход 8–12% от массы заряда из ТГ40)
Г.А. Ададуrow (ИХФ)	1965	Синтез алмаза из графита
Фирма „Дюпон“ (США)	1976	Промышленное производство алмазного микропорошка „Murolex“ сжатием в цилиндрических ампулах смеси графита с медью зарядами массой 5 t
Г.И. Саввакин (ИПМ)	1982	Синтез УДА
А.М. Ставер, А.И. Лямкин (ИГ)	1982	То же
О.Н. Бреусов, В.Н. Дробышев, Г.А. Ададуrow, А.Н. Дремин (ИХФ)	1983	Опытное производство микропорошков алмаза ДАГ и ДАС взрывом в камере прессованных зарядов массой 100 g из смеси графита или сажи с гексогеном
Г.В. Сакович с сотрудниками (НПО „Алтай“)	1984	Опытно-промышленное производство УДА
	1985	Применение композиционных износостойких покрытий „хром+ УДА“ для инструмента и оснастки, производство антифрикционной присадки с УДА для моторных масел
Сотрудники ВНИИТФ и ФГУП Комбинат „Электрохимприбор“ (г. Лесной)	1990	Опытное производство УДА
В.В. Даниленко, В.И. Падалко (ЗАО „АЛИТ“ г. Житомир)	1992	Опытное производство УДА (заряды из ТГ40 массой 10 kg, водяное охлаждение ПД в камере 100 т3 )
В.В. Даниленко, И.А. Петруша (ИСМ)	1994	Начало исследований по спеканию УДА в статических условиях
В.В. Даниленко (ЗАО „АЛИТ“)	1994	Безампульное спекание плотных гранул УДА взрывом, получение монокристалла алмаза
В.В. Даниленко, П.П. Толочко, Б.А. Выскубенко, Э.Э. Лин (ЗАО „АЛИТ“, ВНИИЭФ)	1986–1992	Исследование синтеза УДА взрывом зарядов большой массы (10–140 kg)

## Тенденции развития рынка наноалмазов

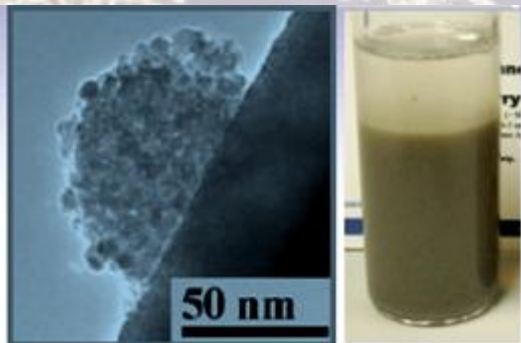


*Структура мирового рынка поставщиков детонационных наноалмазов (оценка по данным на 2009 г.)*

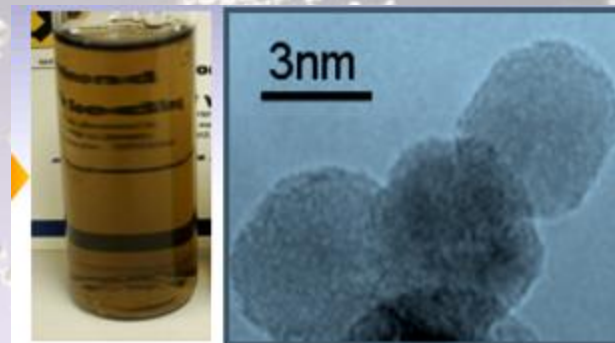


*Российский рынок поставщиков наноалмазов (2009 г.)*

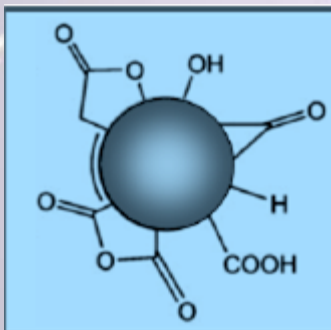
# К чему все идет?



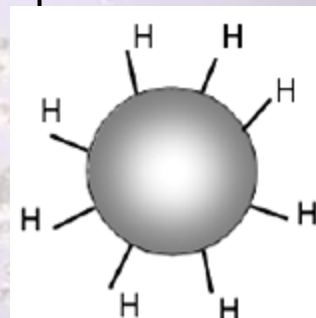
Агломераты 200-300 нм



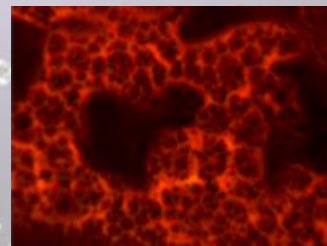
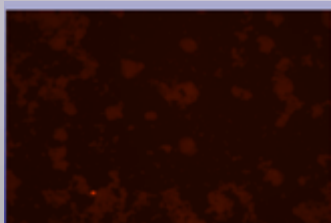
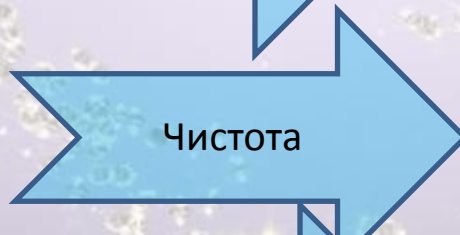
Отдельные частицы  
размером 4-20 нм



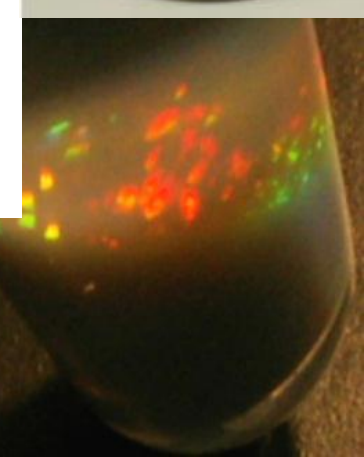
Примеси 0.5 – 5%  
Неалмазный углерод >5%



Примеси <0.1%  
Неалмазный углерод <0.5%



# Применение НА



В. Ю. Долматов Детонационные наноалмазы: синтез, строение, свойства и применение // [ФГУП СКТБ Технолог](#)  
[4-й ежегодный Всемирный конгресс Nano Science & Technology-2014](#)