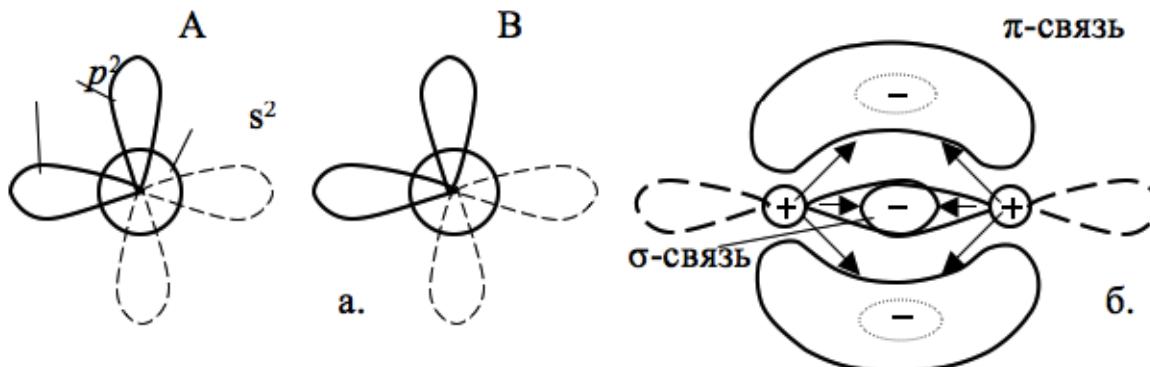


# **Лекция 2**

# **Аллотропы углерода**

# Ковалентная связь



Отличительной особенностью ковалентной связи является ее **насыщенность**. При образовании молекулы с ковалентной связью стягивается воедино такое число атомов

оболочек

Другой

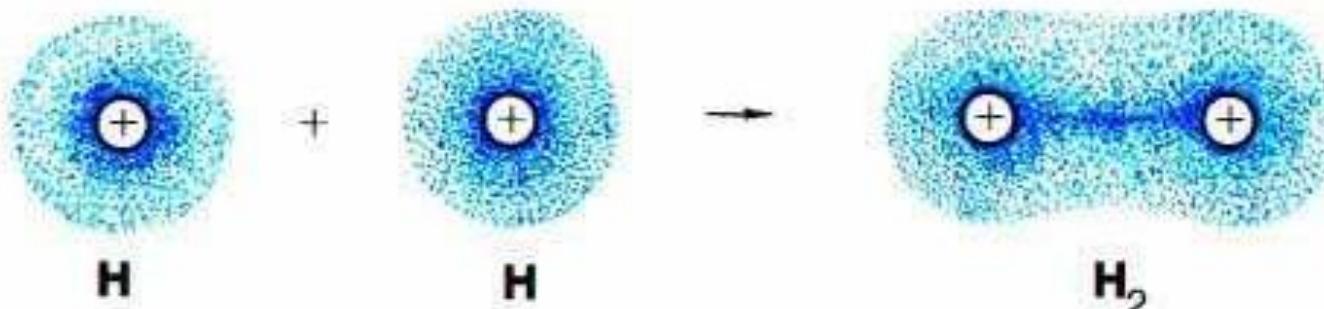
Плотно

больше

числа

электро-

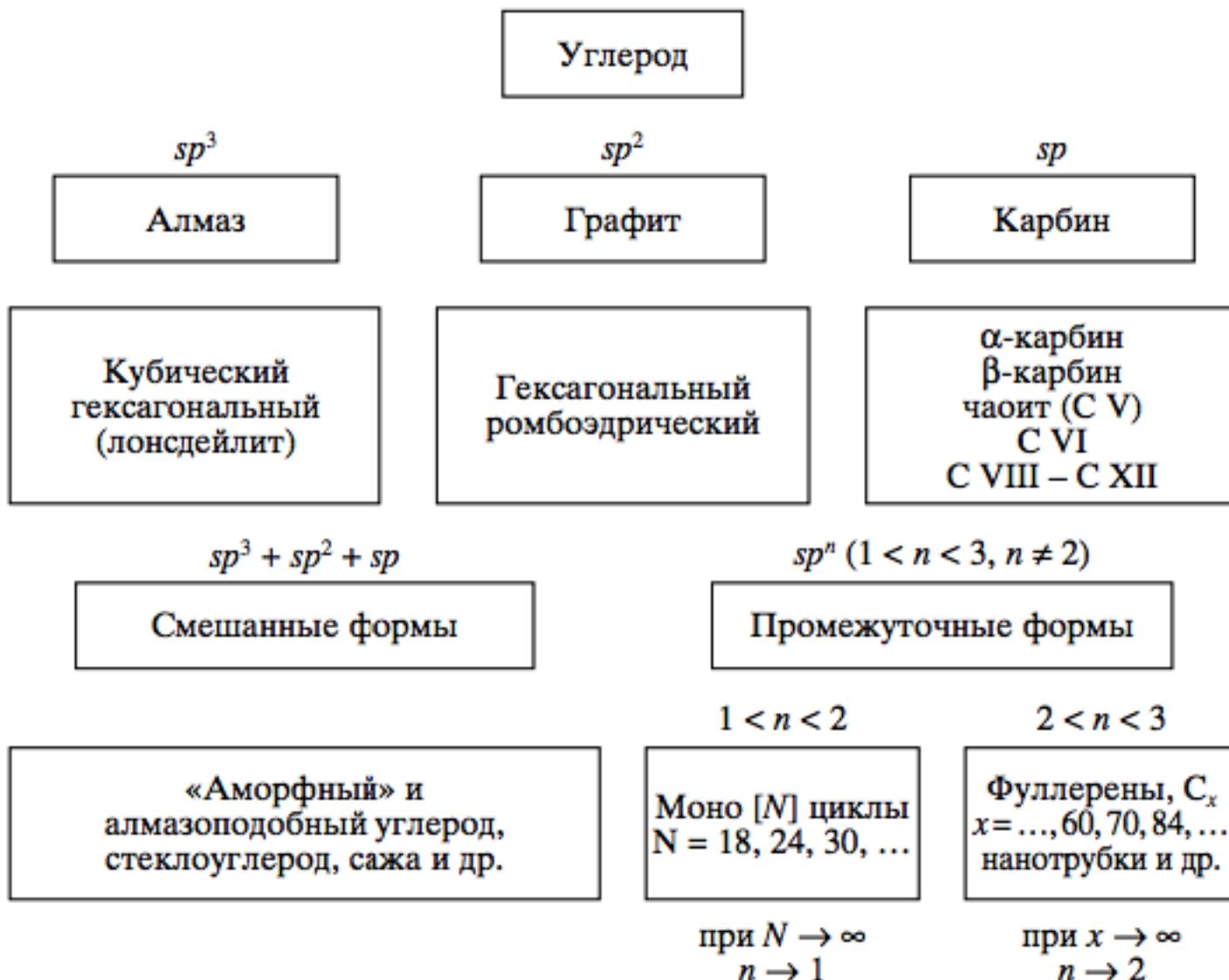
лennость.  
значительно  
ависят от  
например,  
и кулоновских



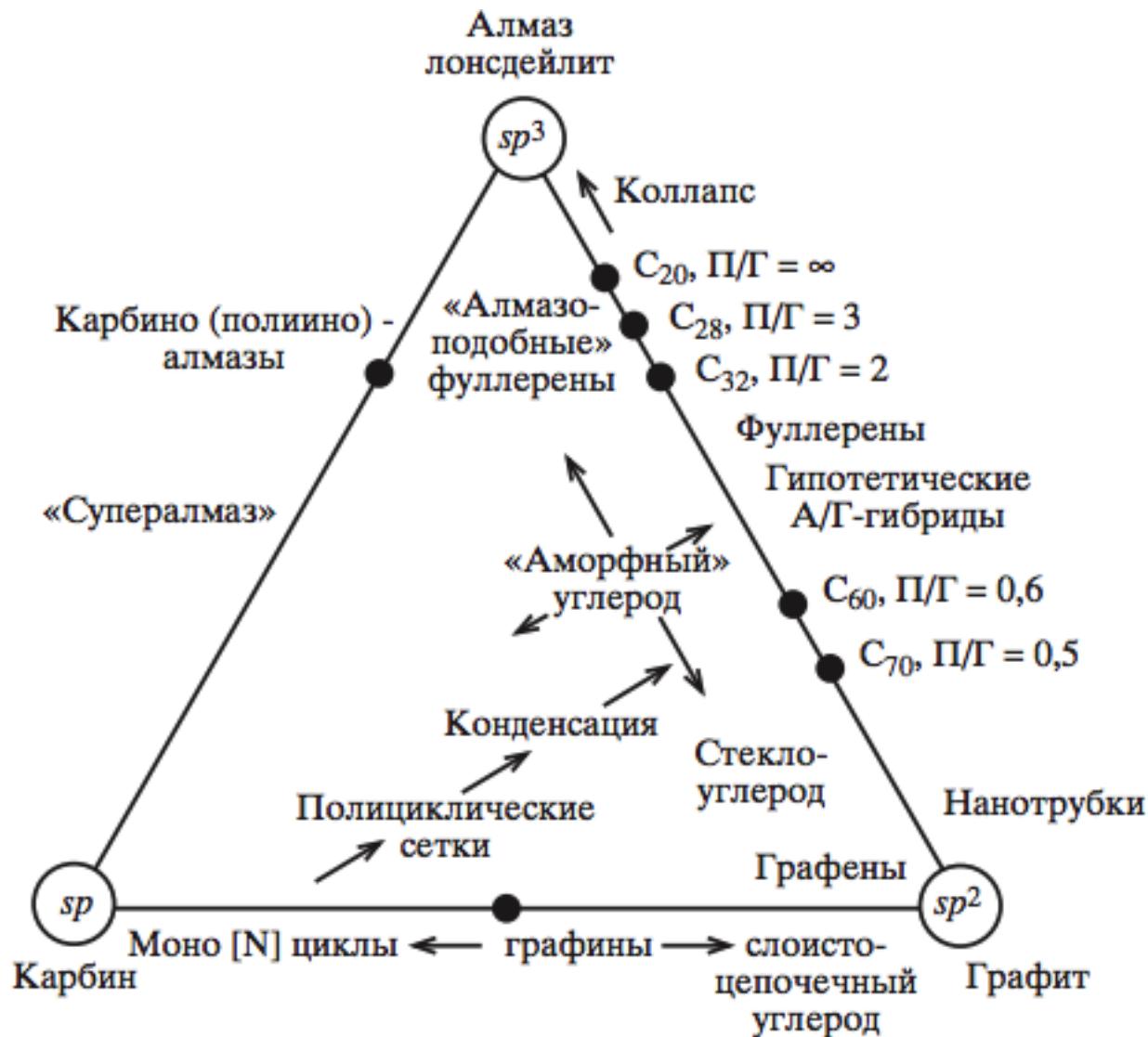
направлениях и это сказывается на направлении ковалентных связей, в которых участвуют *p*-электроны.

В большинстве случаев взаимодействия многоэлектронных атомов, внешние электроны находятся в гибридных состояниях. Так, в частности, углерод образует четыре гибридные *s-p*-ковалентные связи.

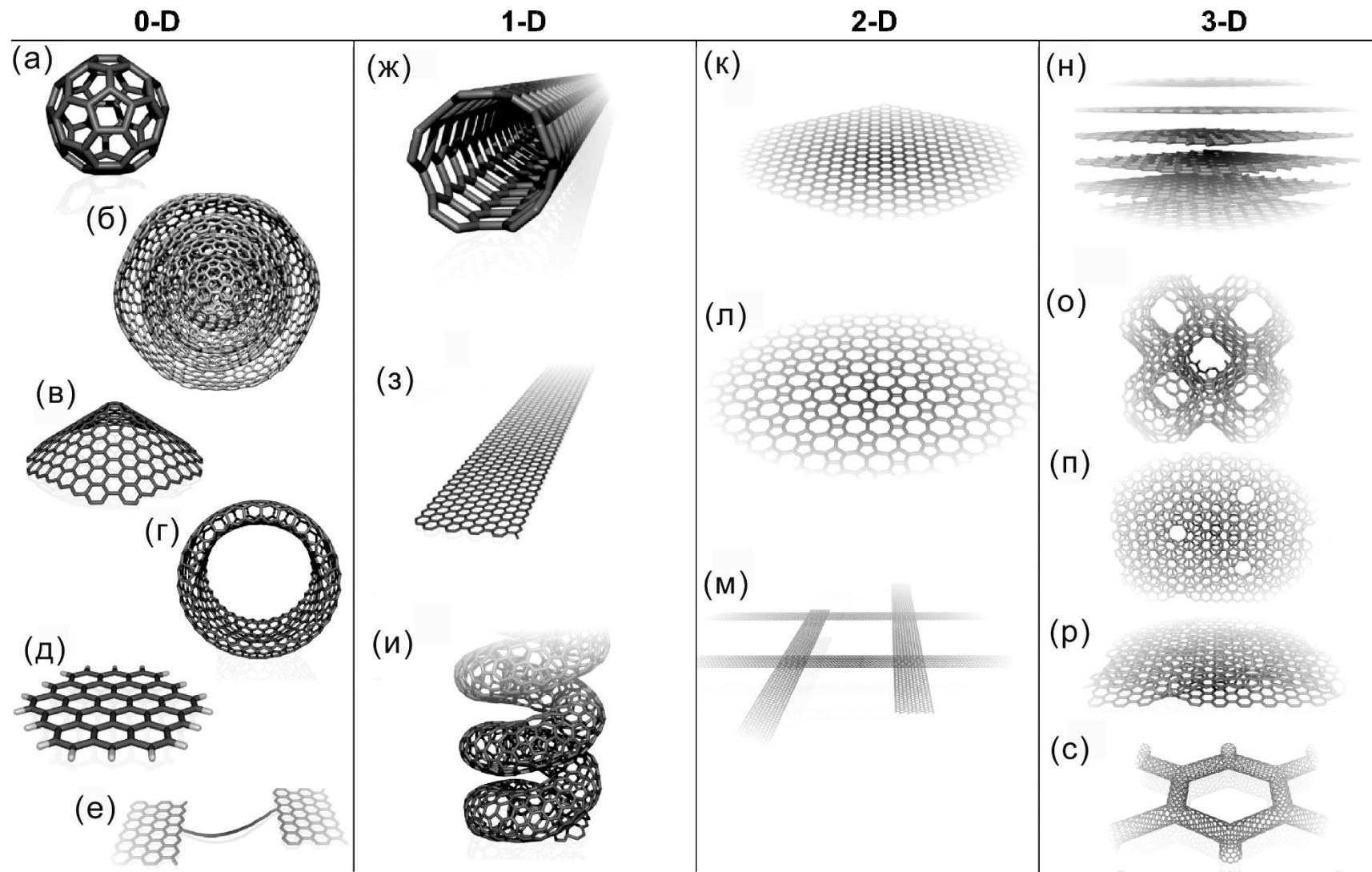
# Классификация аллотропов углерода



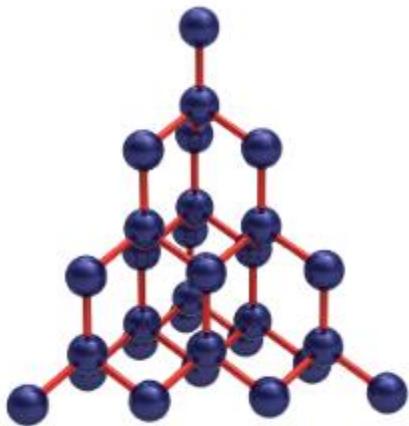
# Классификация аллотропов углерода



# Классификация аллотропов углерода



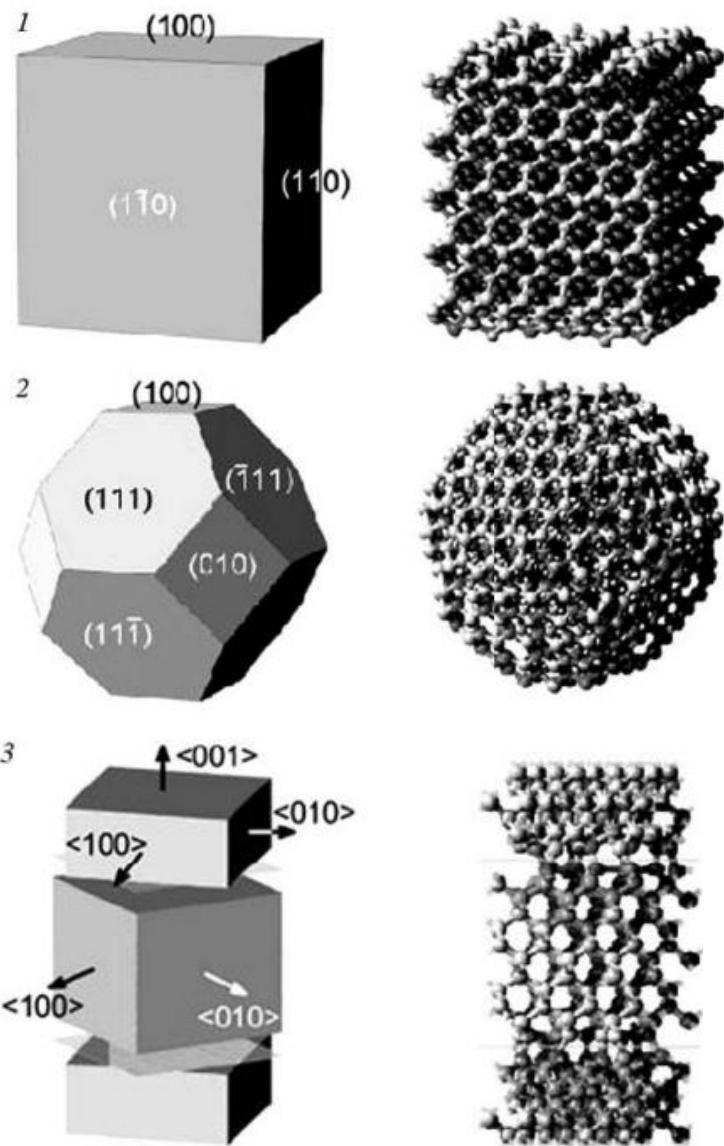
# Алмаз



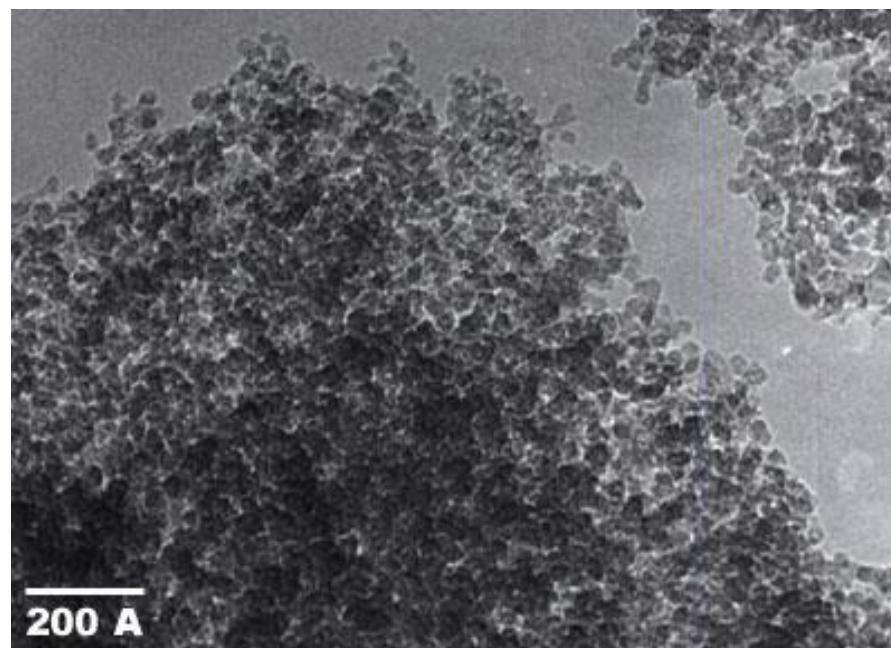
**Алмаз** – бесцветное прозрачное вещество с сильной лучепреломляемостью.

- Каждый из 4-х атомов углерода связан с четырьмя атомами ковалентной связью, а, следовательно, имеет  $sp^3$ -гибридизацию. Угол  $109,47'$
- Обладает твердостью, превосходящей твердость всех известных в природе веществ. Химически очень устойчив.
- Плотность алмаза  $3,5 \text{ г/см}^3$ .
- Можно получить из графита при  $p>50$  тыс. атм. и  $t_0=12000 \text{ С}$ .
- Температура плавления  $3700-4000 \text{ С}$ . На воздухе алмаз сгорает при  $850-1000 \text{ С}$ , а в струе чистого кислорода горит слабо-голубым пламенем при  $720-800 \text{ С}$ , в конечном счете превращаясь в углекислый газ. При нагреве до  $2000 \text{ С}$  без доступа воздуха алмаз переходит в графит за 15-30 минут.

# Наноалмаз

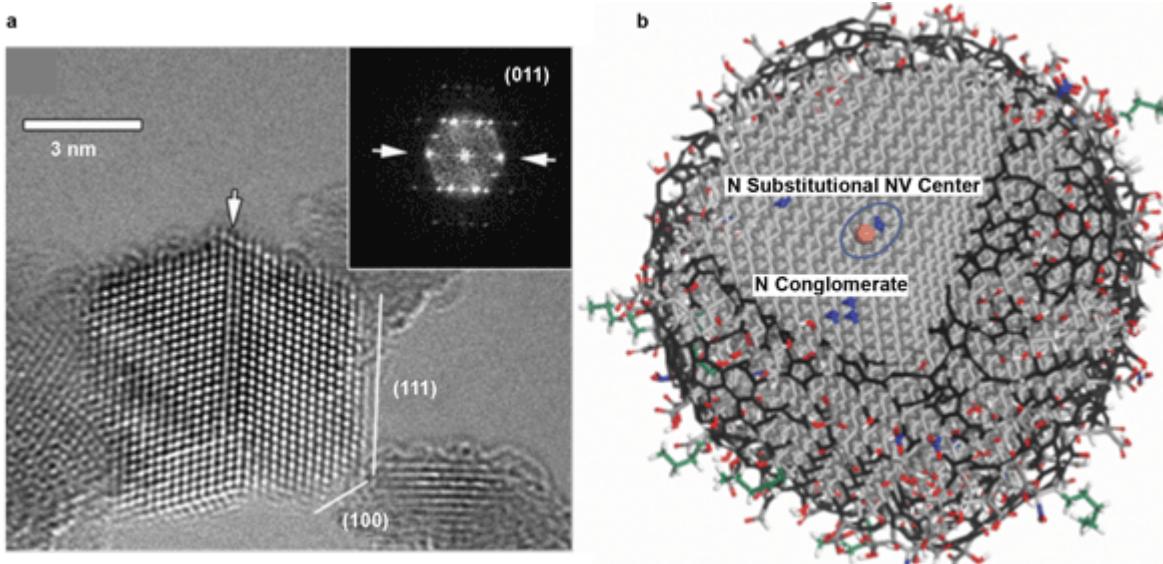


К **наноалмазам** относятся достаточно разнородные по структуре и свойствам УНМ, у которых атомы имеют  $sp^3$ -координацию. Могут быть в виде наноигл, нановолокон, наночастиц, усов, жгутов, проволок, цветов, кораллов, дендритов и др. Используются в качестве антифрикционных, абразивных материалов, для роста алмазных пленок, для получения поликристаллических алмазов, упрочняющих покрытий, в медицинских и биологических целях.



# Наноалмаз

Пример детонационного наноалмаза.



## DOPANTS/IMPURITIES

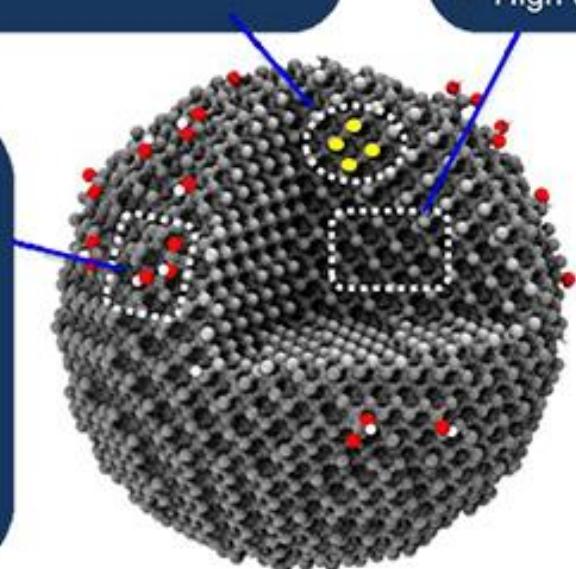
- Nitrogen impurities (potentially fluorescence)
- Boron doping (electroconductivity)
- $^{3}\text{H}$  doping (radiolabeling)

## CORE

- Mechanical/chemical stability
- Inherent biocompatibility
- Large bandgap (transparency)
- High refractive index (UV scattering)
- High thermal conductivity

## SURFACE CHEMISTRY

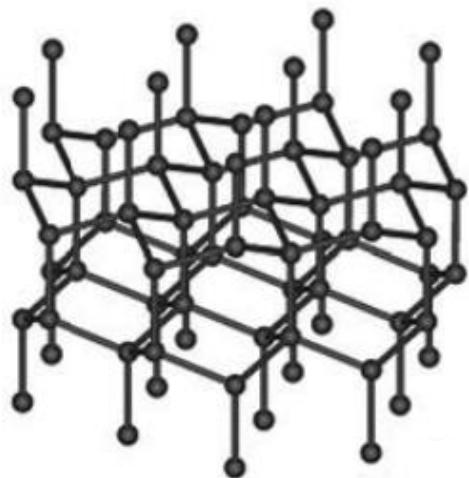
- Colloidal stability
- Uniformity of NDs distribution in nanocomposites
- Conjugation with biomolecules
- Drug adsorption
- Electron affinity (e.g. negative)
- Catalytic properties
- Self-assembly into photonic crystals
- Biocompatibility



## SIZE AND SHAPE

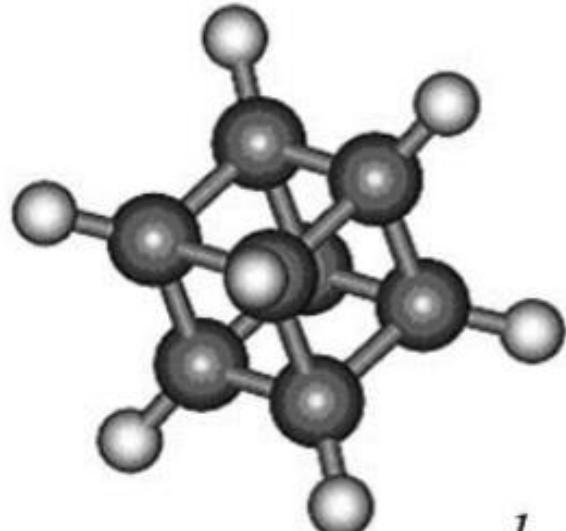
- Size ~4-6nm
- Shape close to spherical
- Influence reactivity
- Interactions with cells
- Ball rolling in nanolubricants

# SP<sup>3</sup>-структуры

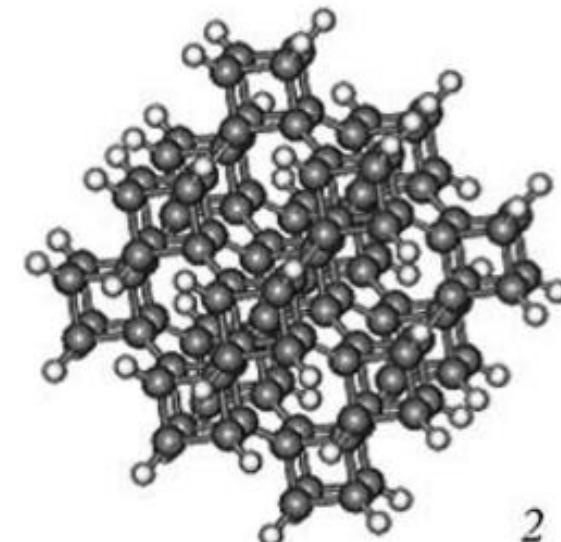


Лонсдейлит

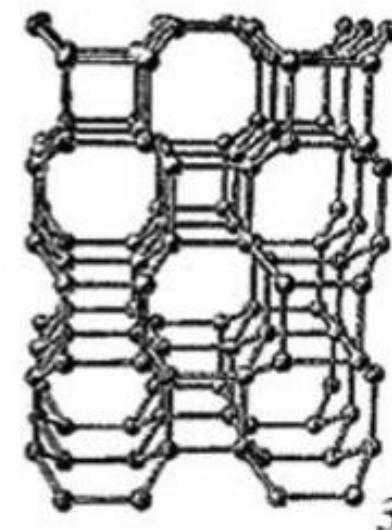
Все атомы в кристаллах образуют четыре эквивалентные ковалентные сигма-связи с соседними атомами. К таким структурам относятся алмаз и ряд его политипных разновидностей, а также теоретически предсказанные суперкубан и ректангулан. Лонсдейлит наблюдался в частичках метеоритов, а также был синтезирован искусственно, однако, не в чистом виде, а в савокупности с алмазом.



кубан

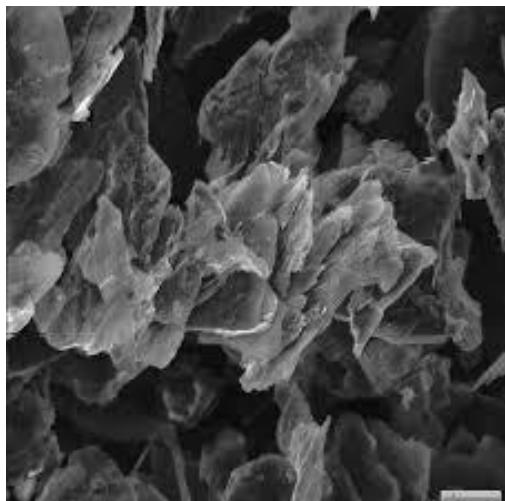
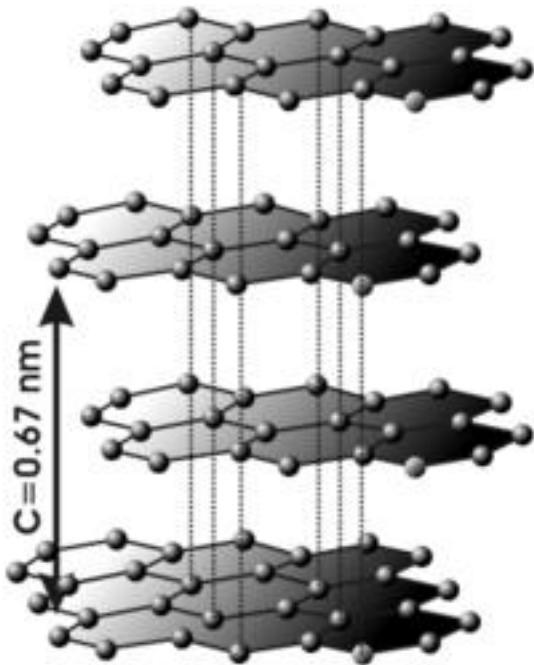


кластер C120H56



ректангулан

# Графит



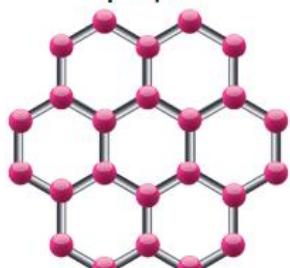
**Графит** – одна из аллотропных модификаций углерода. Имеет слоистую структуру. Слои слабоволнистые, почти плоские, состоят из шестиугольных слоёв атомов углерода.

- Непрозрачен, серого цвета с металлическим блеском. Скользкий на ощупь.
- Угол связи в плоскости 120 градусов.
- Хорошо проводит электрический ток.
- Одно из самых мягких из твердых материалов (1-2 по шкале Мооса).
- Тугоплавкий, в кислотах не растворяется.
- Способен смазывать поверхность другого вещества.
- Четвертый электрон делокализован (как в металле).
- Связи между плоскостями слабые, Ван-дер-Ваальсовы.

# SP<sup>2</sup>-структуры

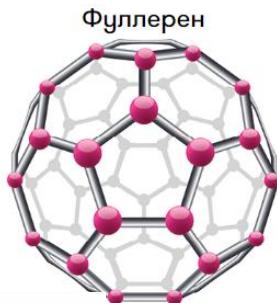
Углеродная нанотрубка

Графен

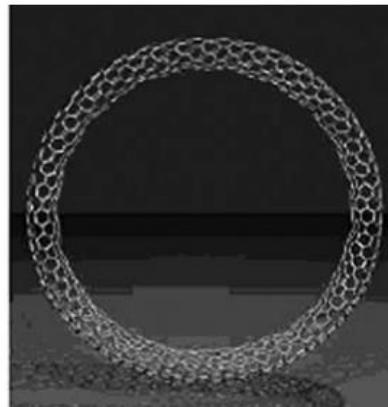
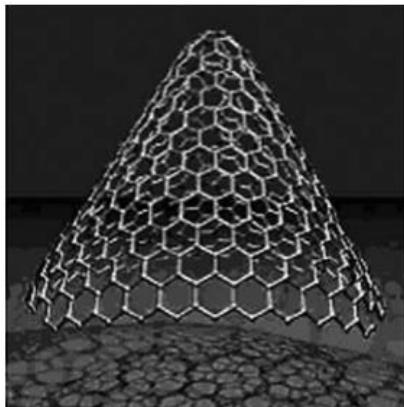
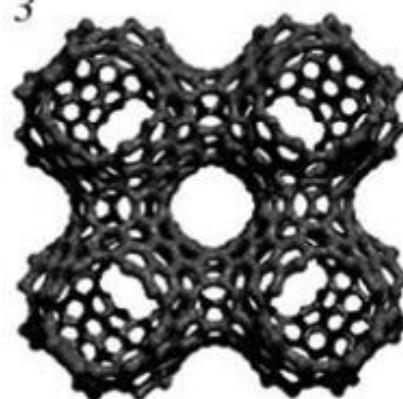
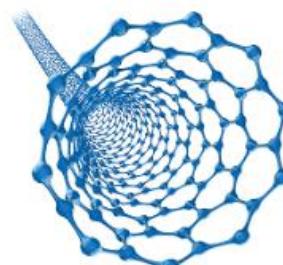


1

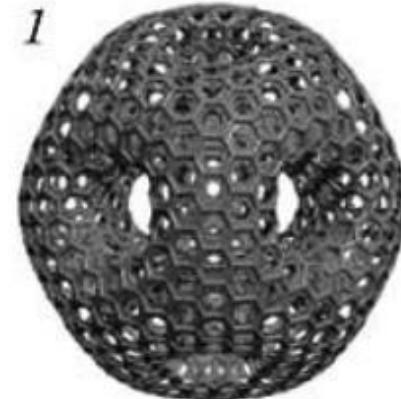
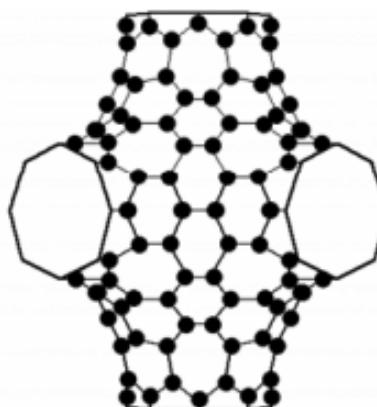
Фуллерен



3



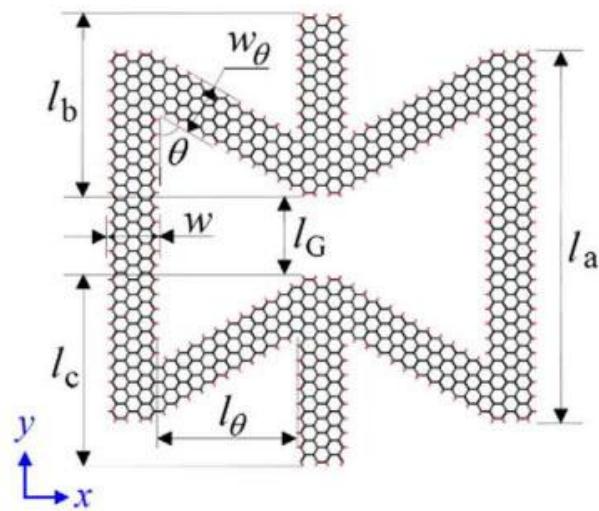
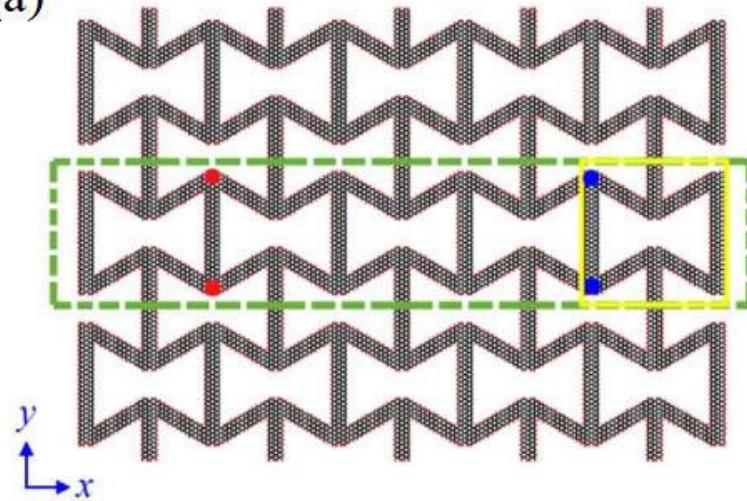
Помимо фуллеренов, УНТ и графена известно множество наноаллотропов, структура которых образована различными углеродными циклами. В составе этих полиморфов атомы углерода имеют трехкоординатную координацию. Однако, многие структуры к настоящему моменту предложены теоретически, но не обнаружены экспериментально. Подобные структуры гораздо менее устойчивы, чем sp<sup>3</sup>-структуры.



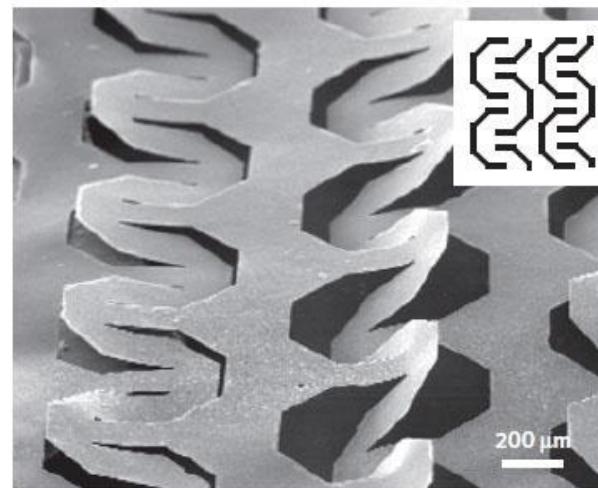
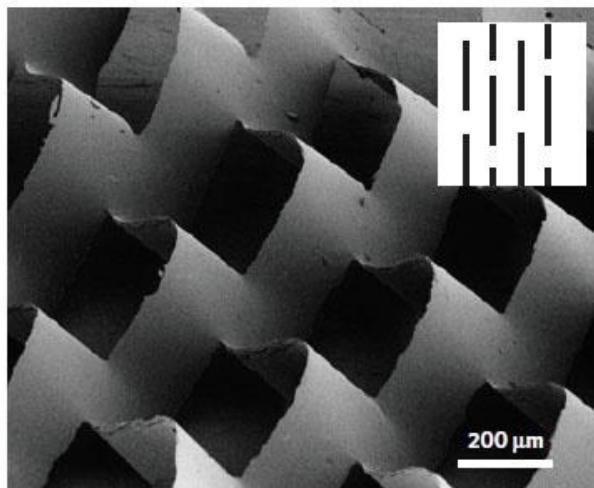
# Новые углеродные материалы 2D

## Киригами-графен

(а)

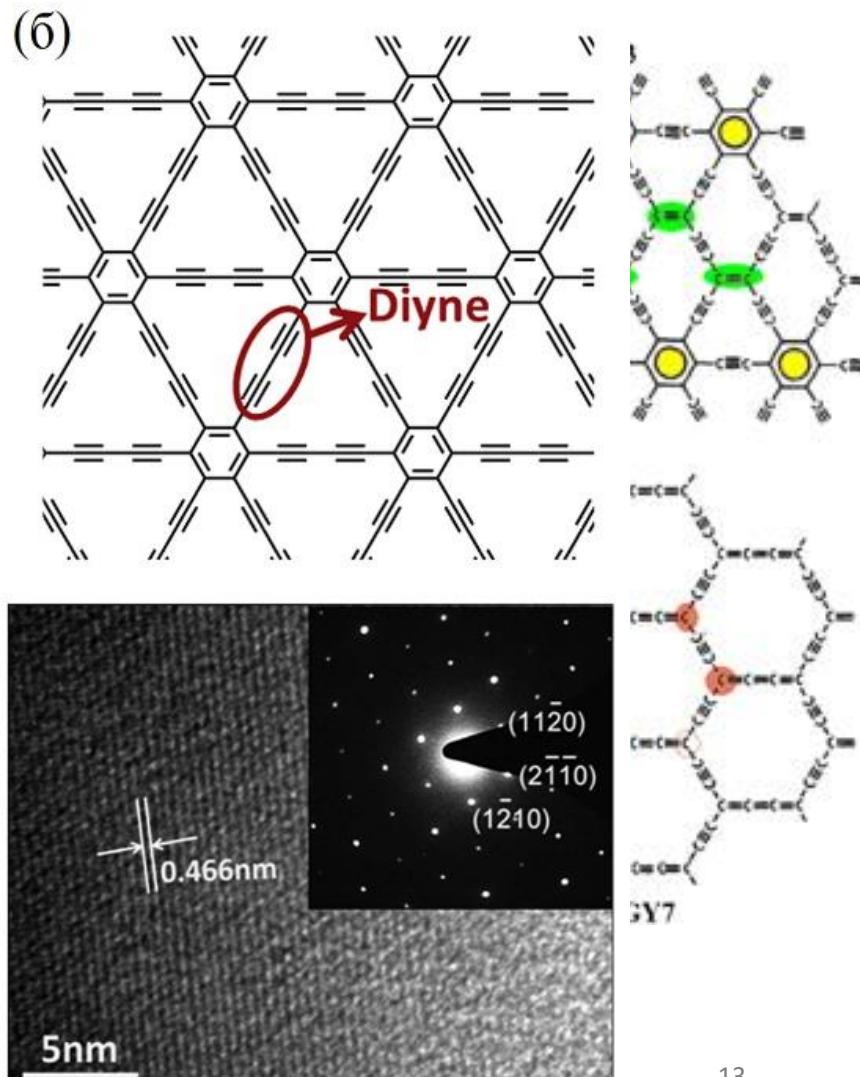
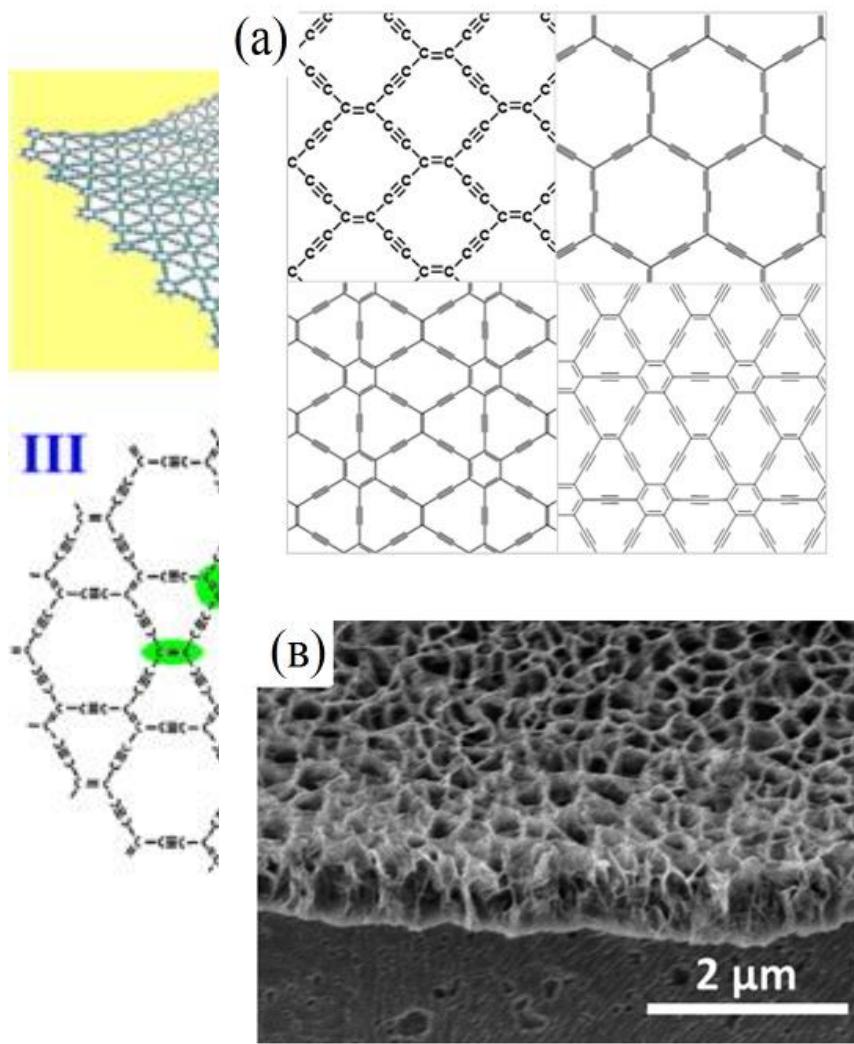


(б)



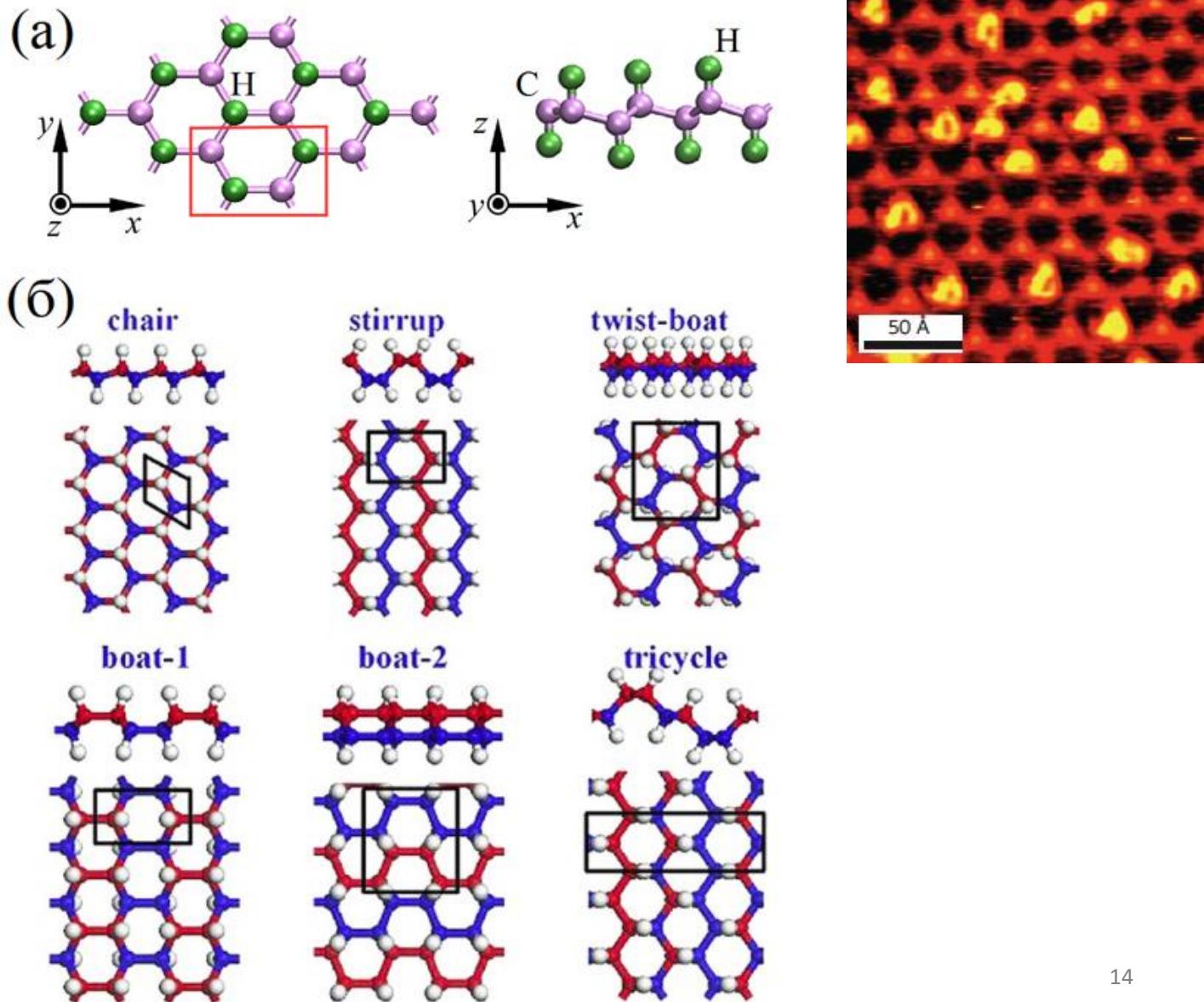
# Новые углеродные материалы 2D

## Графин и графдиен



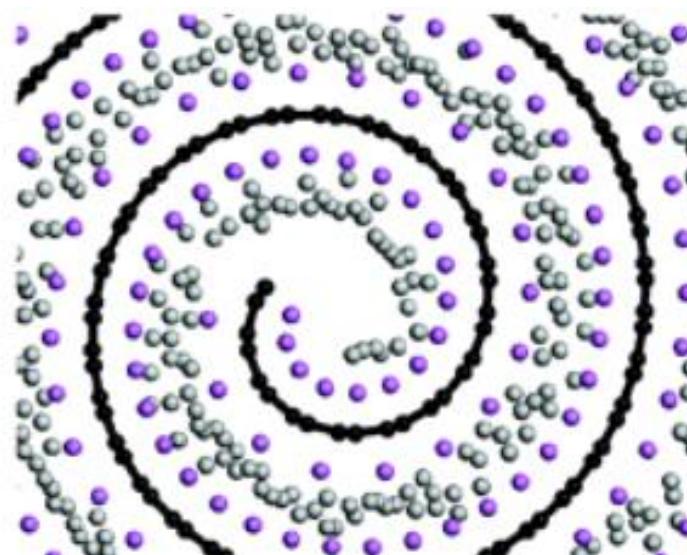
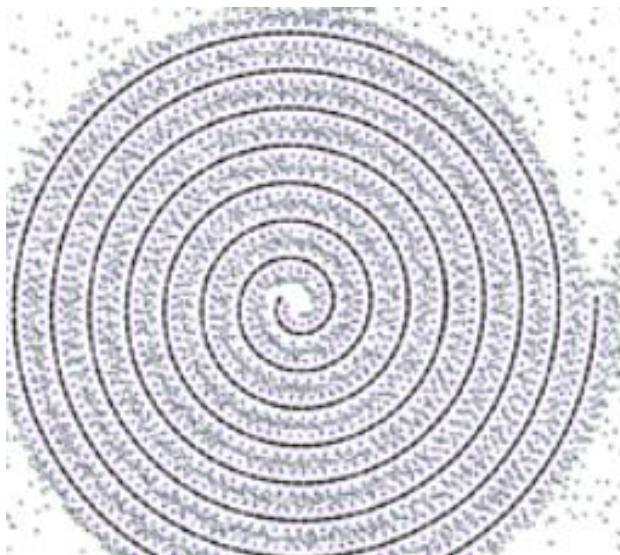
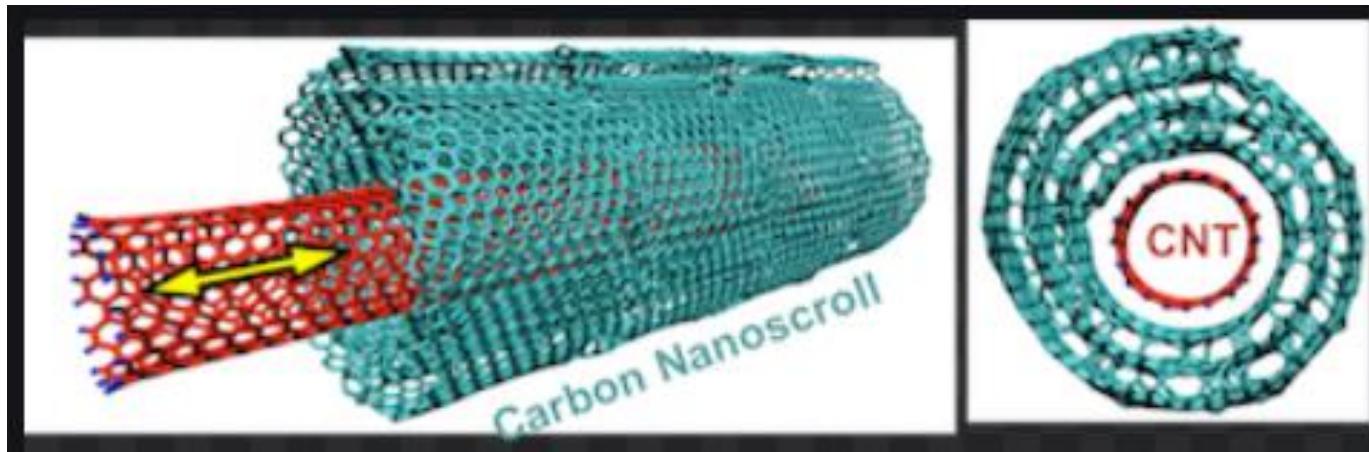
# Новые углеродные материалы 2D

## Графан



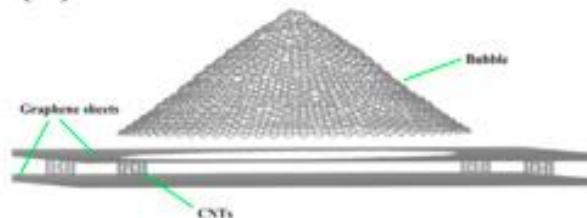
# Новые углеродные материалы 2D

## Нанорулоны

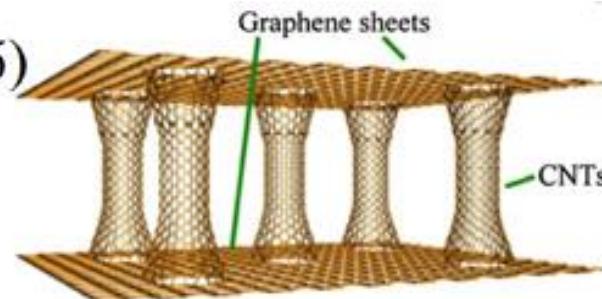


# Новые углеродные материалы 3D

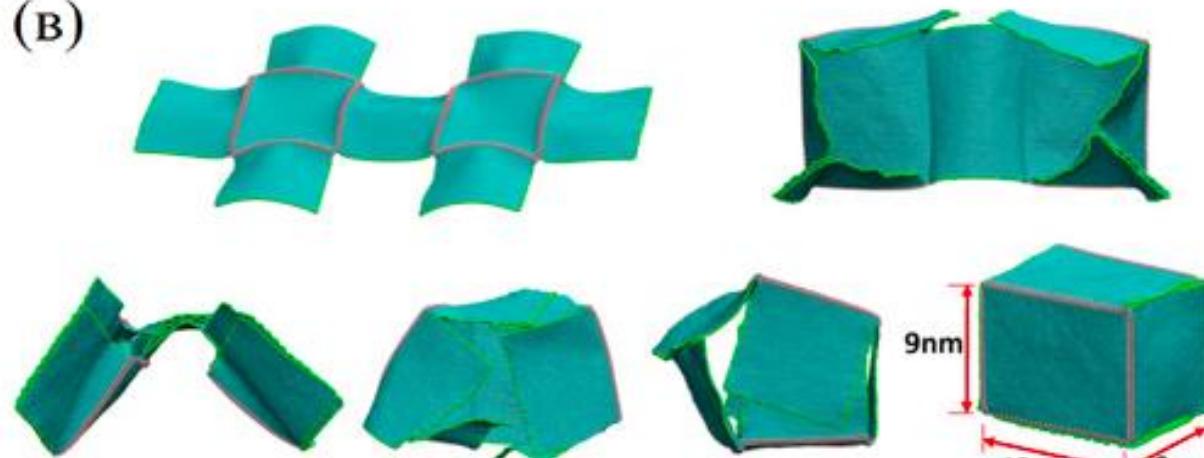
(а)



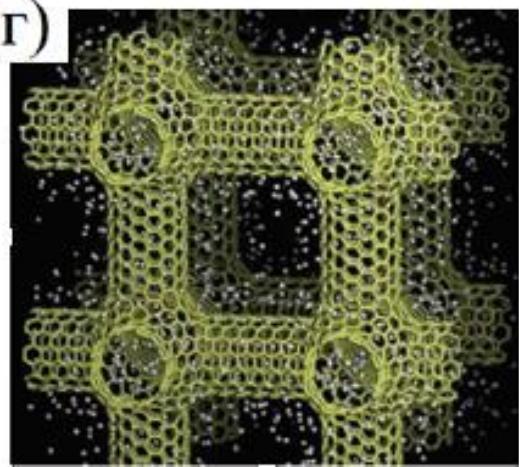
(б)



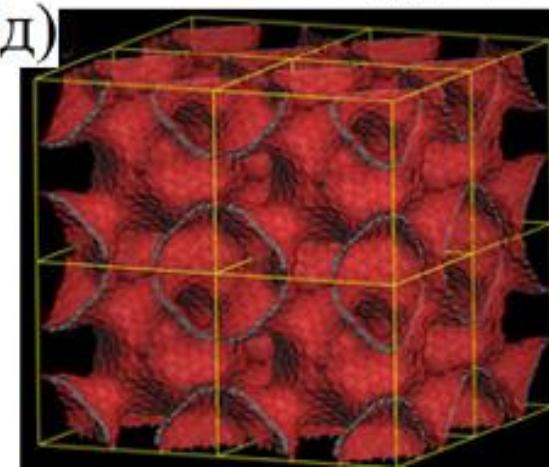
(в)



(г)

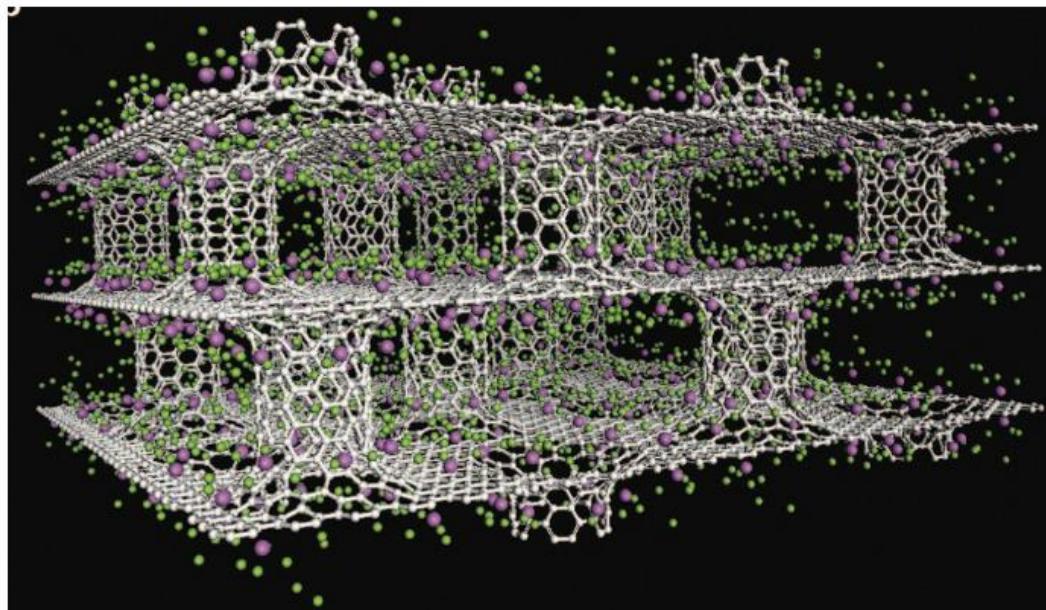
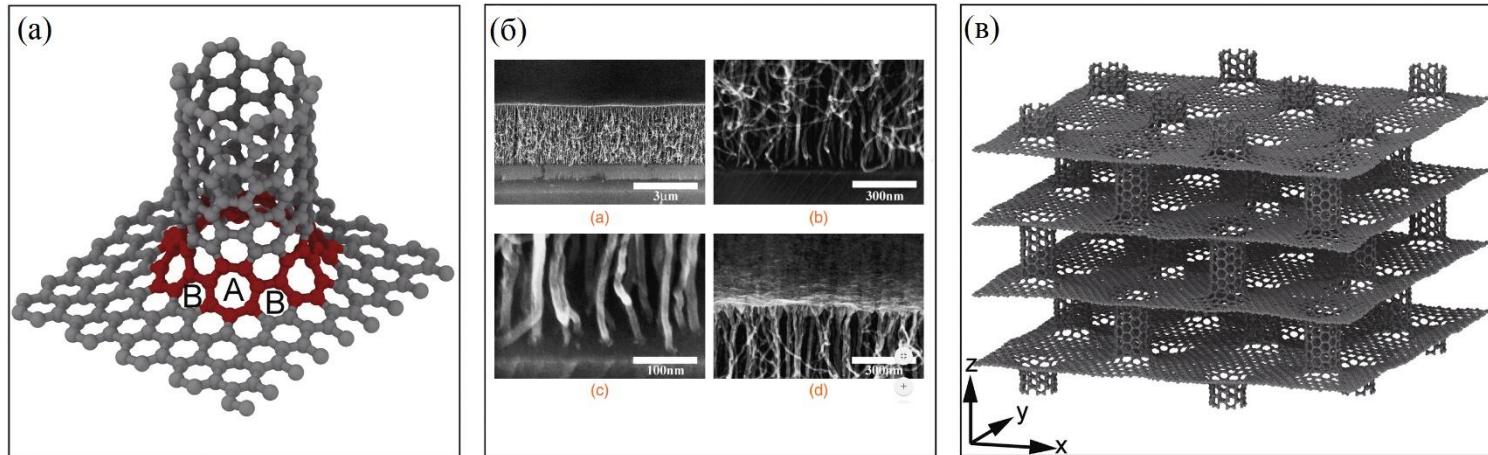


(д)

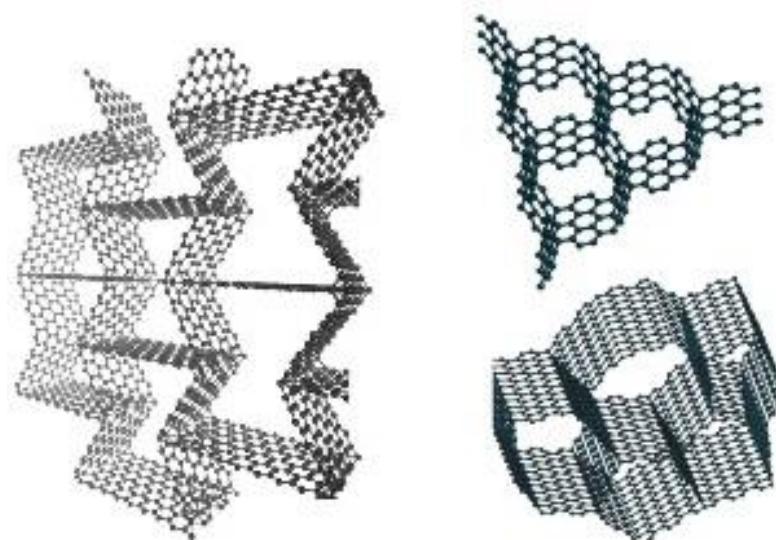
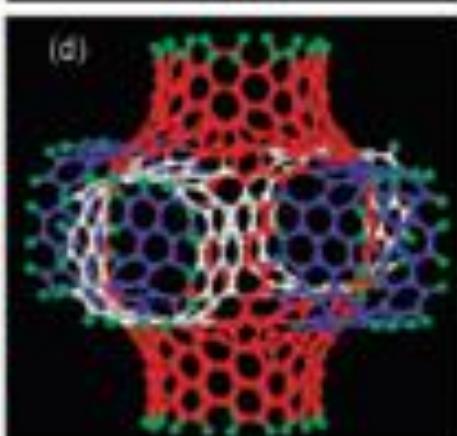
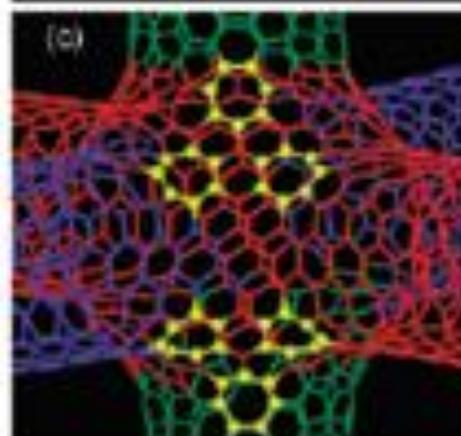
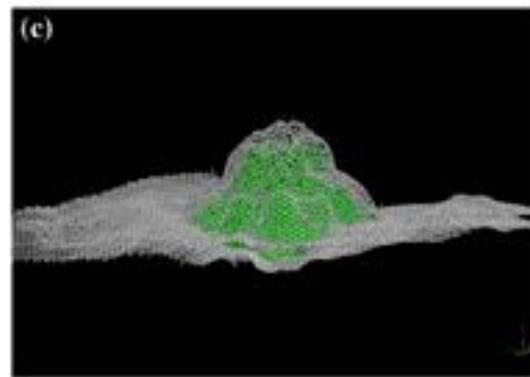
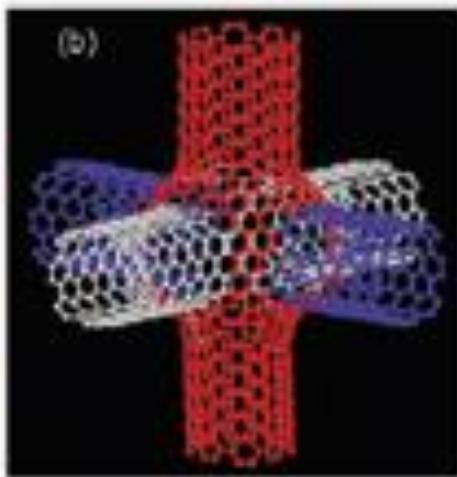
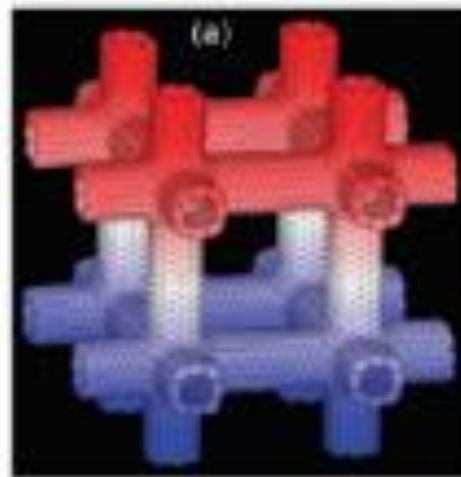


# Новые углеродные материалы 3D

## Трубчатый графен

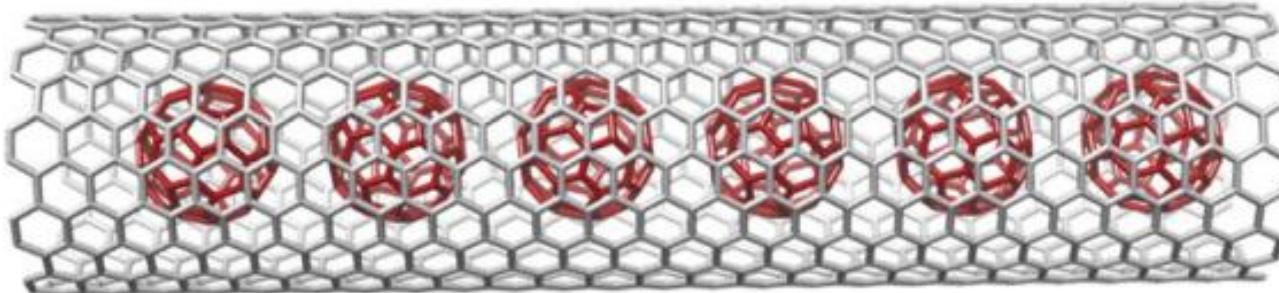
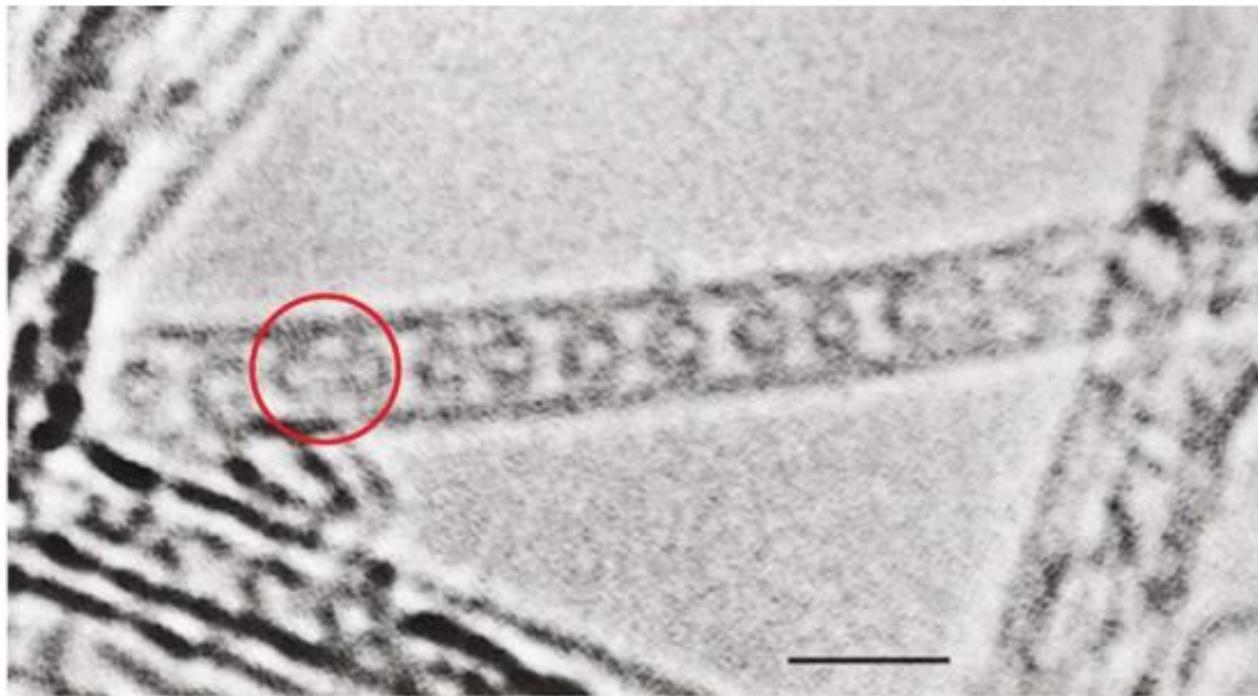


# Новые углеродные материалы 3D



# Новые углеродные материалы 3D

## Пиподы



# **The End**