



Центр перспективных технологий  
+7(495)926-3759, [www.nanoscopy.net](http://www.nanoscopy.net)



# Графит

**Москва, ЦВК «Экспоцентр»  
6 октября 2009 г.**



[www.bitbyte-studio.com/clients/mc2](http://www.bitbyte-studio.com/clients/mc2)



[www.optigraph.eu](http://www.optigraph.eu)



<http://www.ecvv.com/product/1975978.html>



<http://italian.alibaba.com>



Графит – от греческого  $\gamma\rho\alpha\phi\epsilon\iota\nu$  - пишу



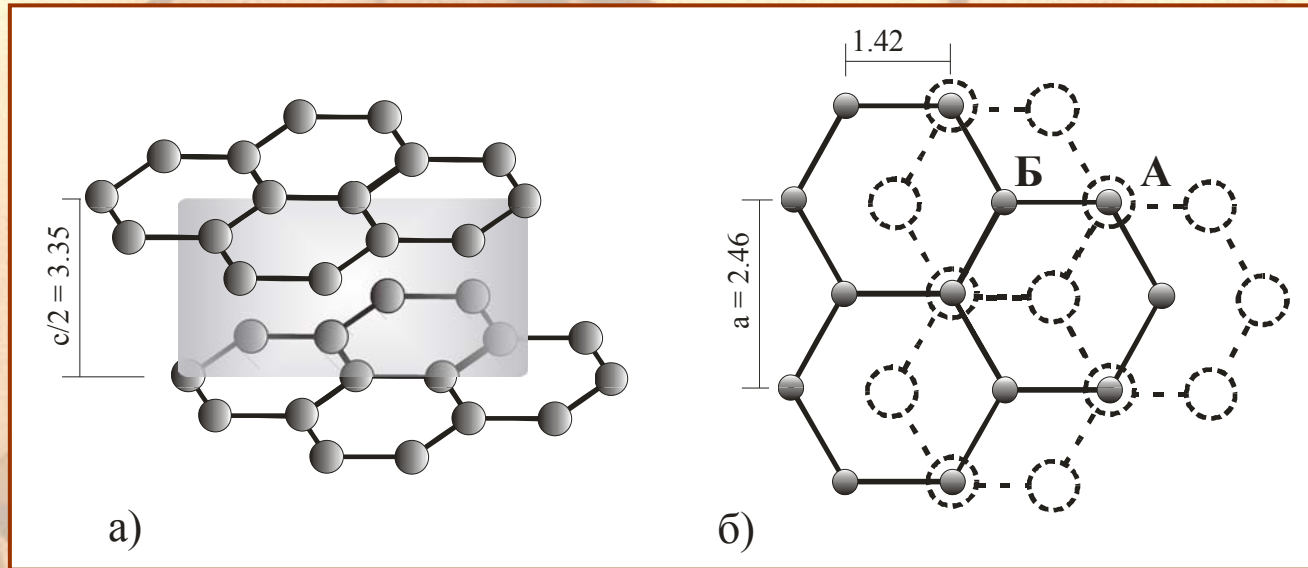
<http://www.britishcarbon.org>

### Применения графита:

- Электроды
- Нагревательные элементы
- Плавильные тигли
- Твёрдые смазки
- Наполнитель пластмасс
- Замедлитель нейтронов в ядерных реакторах
- Обшивка корпусов ракет
- Контактные щётки и токосъёмники
- Рентгеновские монохроматоры

Годовое потребление графита в мире  
оценивается в 1 триллион рублей

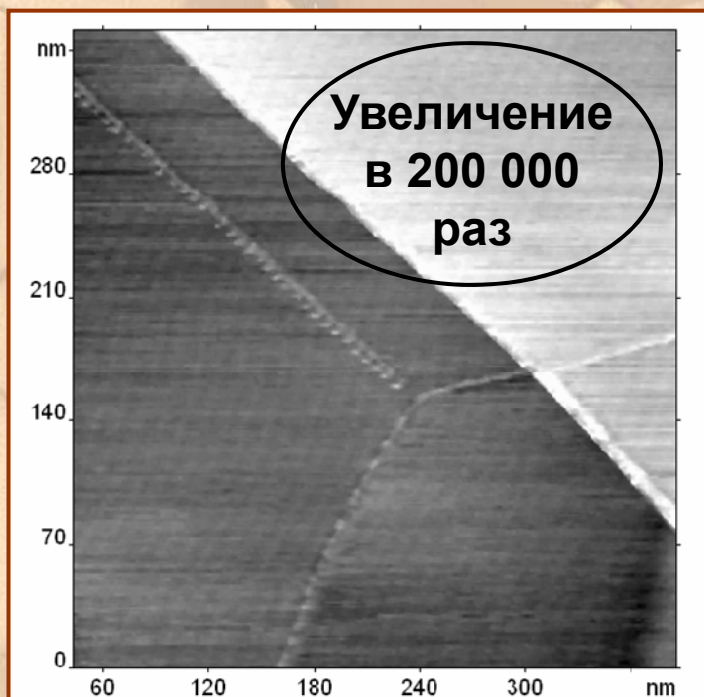
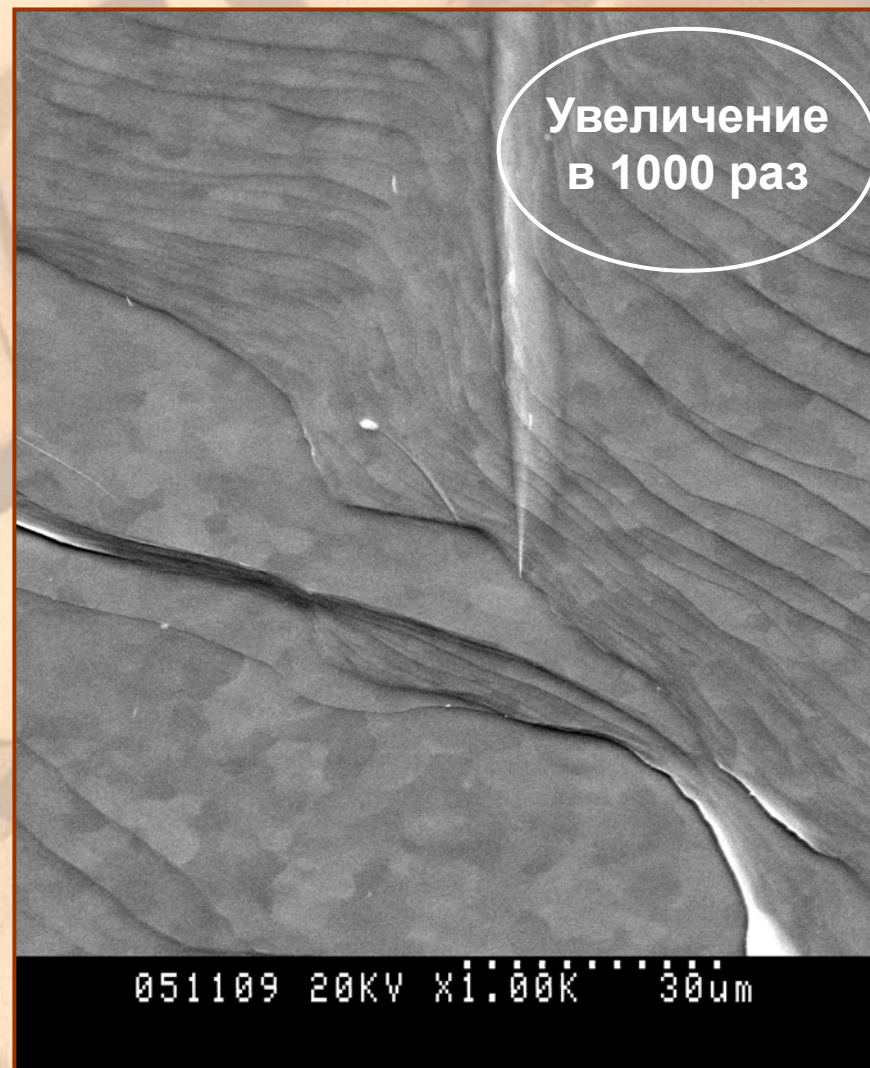
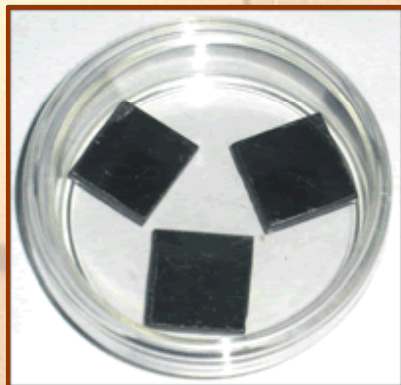
## Кристаллическая структура и свойства графита



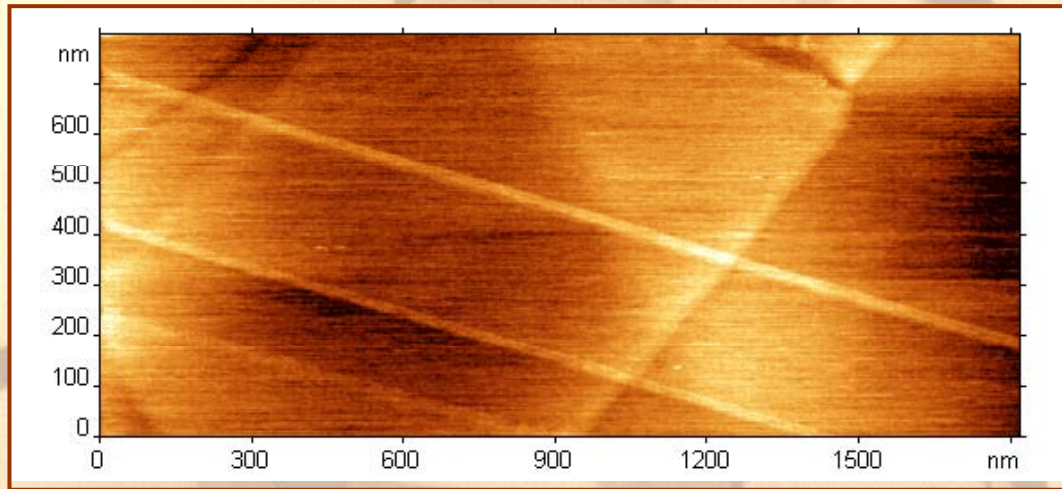
	<b>Монокристалл графита</b>	<b>Высокоориентированный пиролитический графит</b>
<b>Сопротивление, Ом·м</b>		
Вдоль слоёв	$4 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-7} - 4,5 \cdot 10^{-7}$
Перпендикулярно слоям	$0,01 \cdot 10^{-2} - 1,0 \cdot 10^{-2}$	$0,15 \cdot 10^{-2} - 0,25 \cdot 10^{-2}$
<b>Теплопроводность, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup></b>		
Вдоль слоёв	200–500	1600–2000
Перпендикулярно слоям	40 – 80	7–9



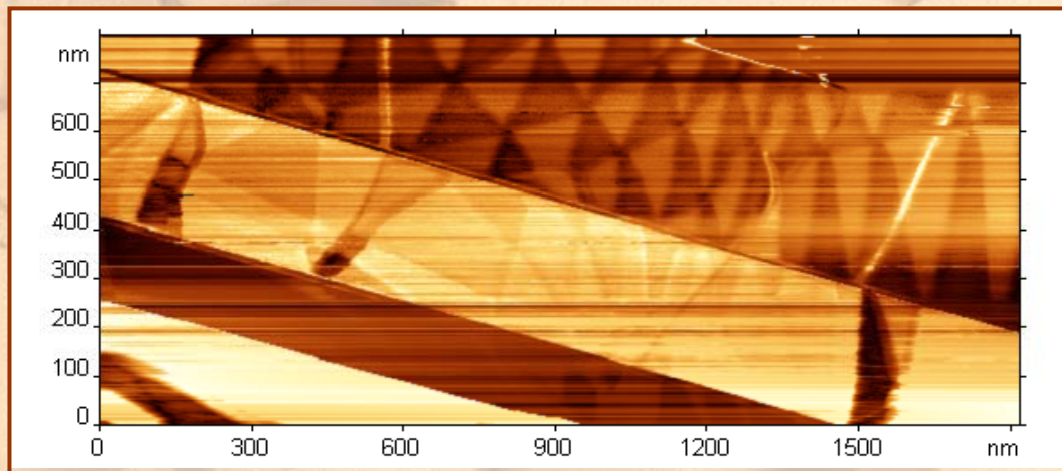
**Высокоориентированный пиролитический графит (ВОПГ)** – поликристаллический графит, в котором направления осей, перпендикулярных слоям, у всех кристаллитов почти совпадают.



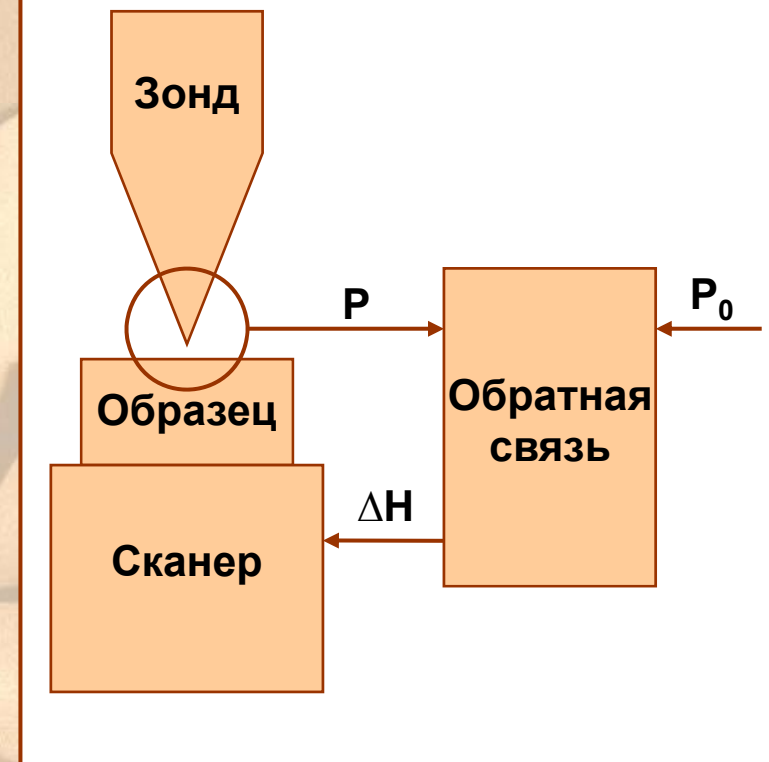
## Атомно-силовая микроскопия Топографическое изображение



## Сканирующая резистивная микроскопия Токовое изображение

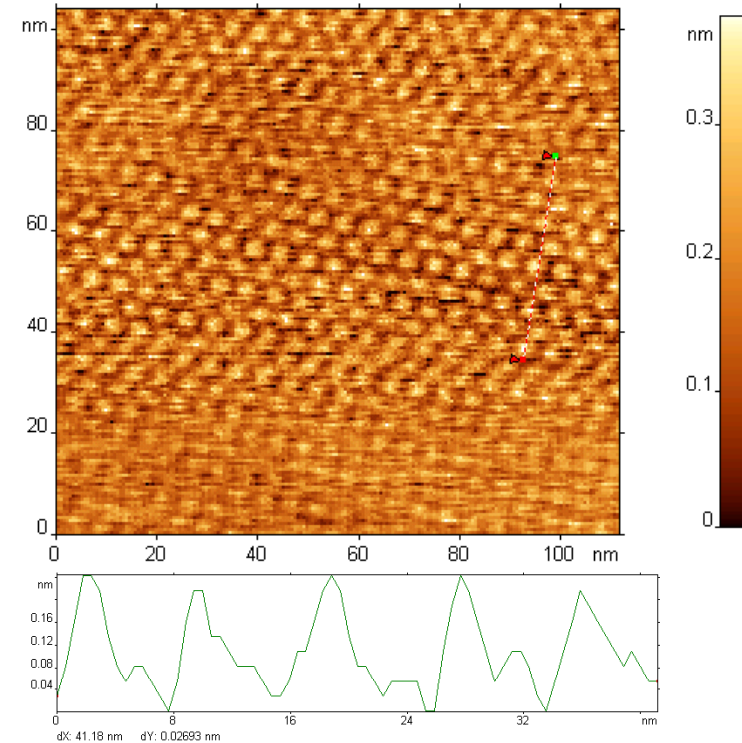
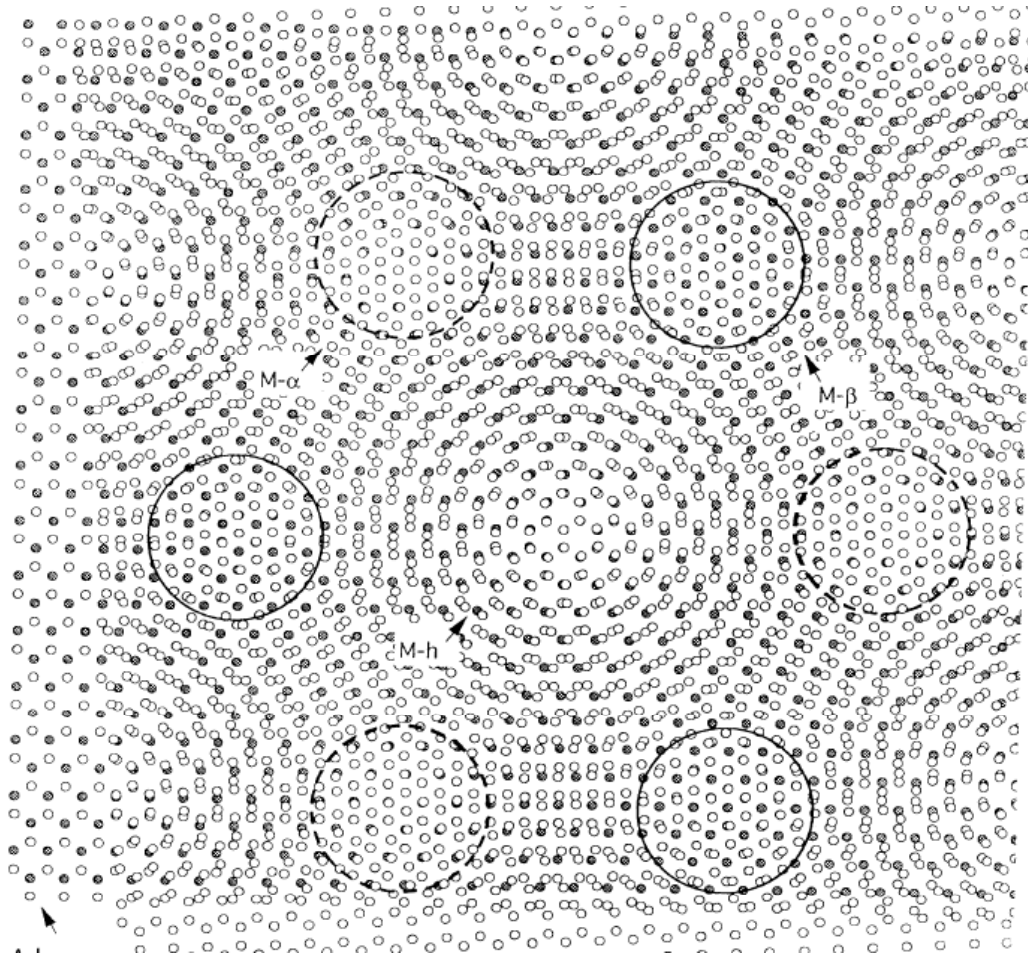


## Схема зондового микроскопа





# Муар на поверхности графита



Период муара  
 $D = (5,3 \pm 0,3) \text{ нм}$   
Период графита  
 $d = 2,46 \text{ \AA}$

$$D = d / (2 \sin(\theta/2)) \Rightarrow \theta = (2,7 \pm 0,2)^\circ$$

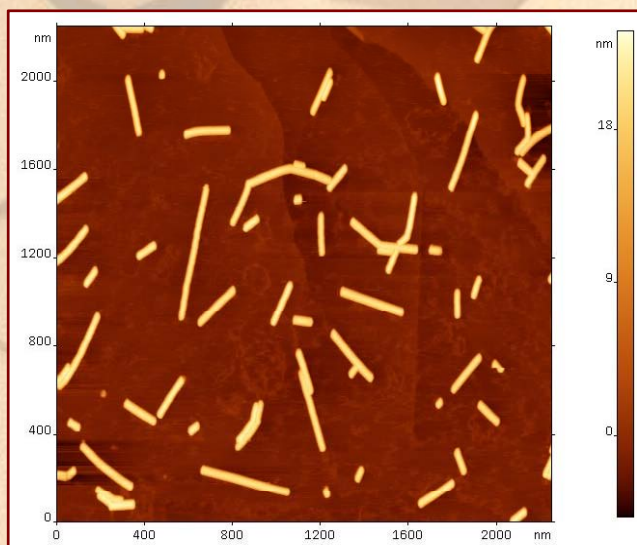


## Графит – незаменимый материал для зондовой микроскопии

при сколе образуется инертная, атомно-гладкая поверхность

- Калибровочная решётка ( $a = 2,46 \text{ \AA}$ , атомное разрешение возможно на воздухе)
- Гидрофобная подложка (изучение молекул, кластеров, монослоёв)

Частицы вируса  
табачной мозаики



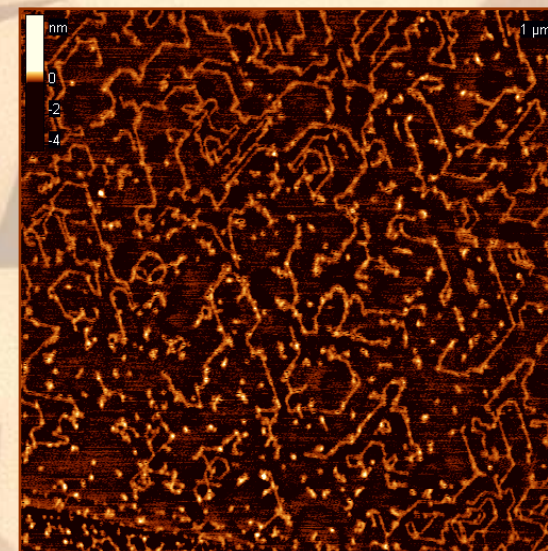
Автор изображения Галлямов М.О.

Бактерия  
*Escherichia coli*



Автор изображений Дубровин Е.В.

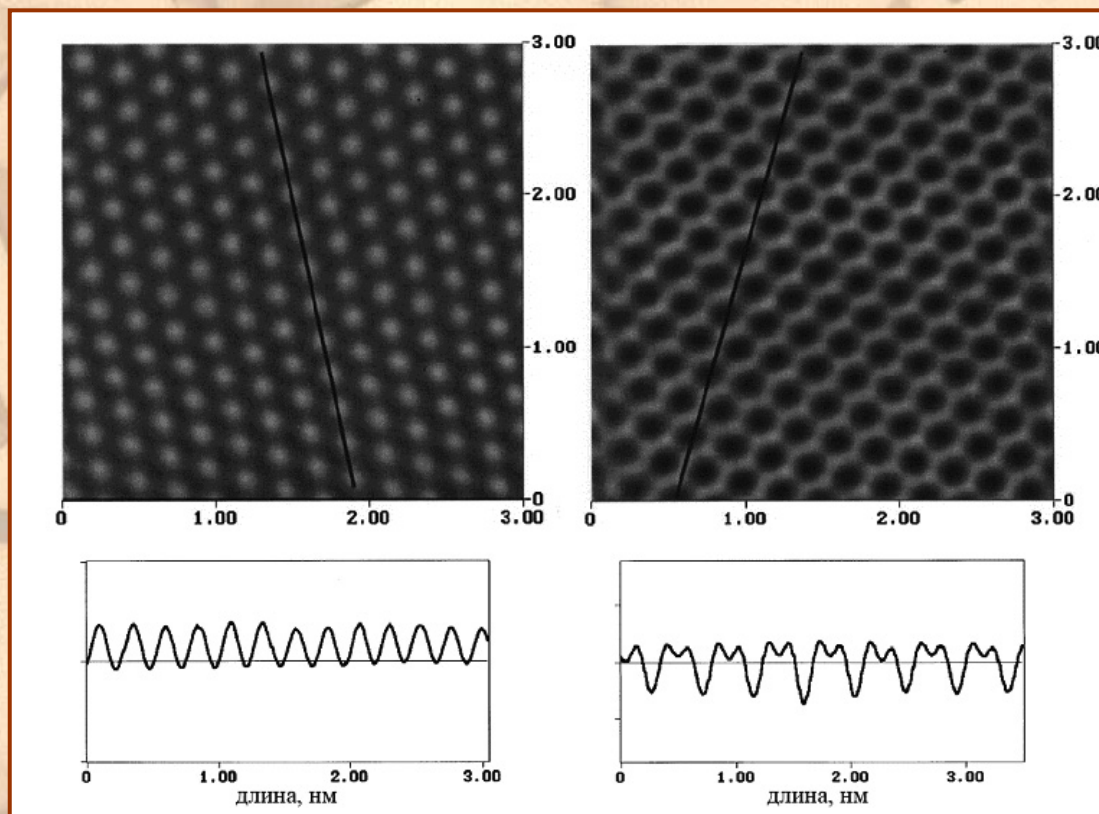
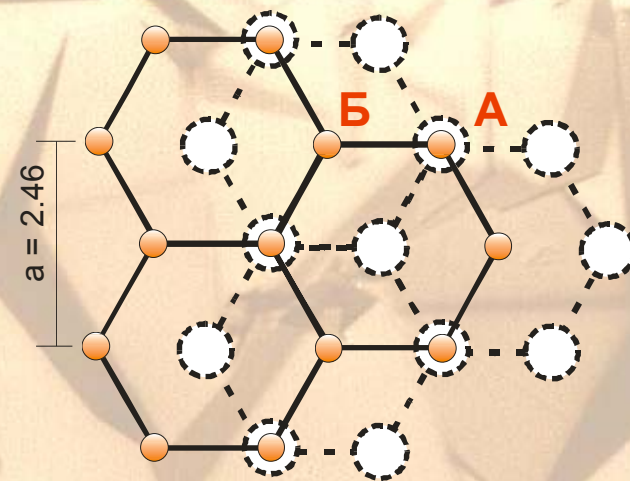
Самоорганизация  
ДНК





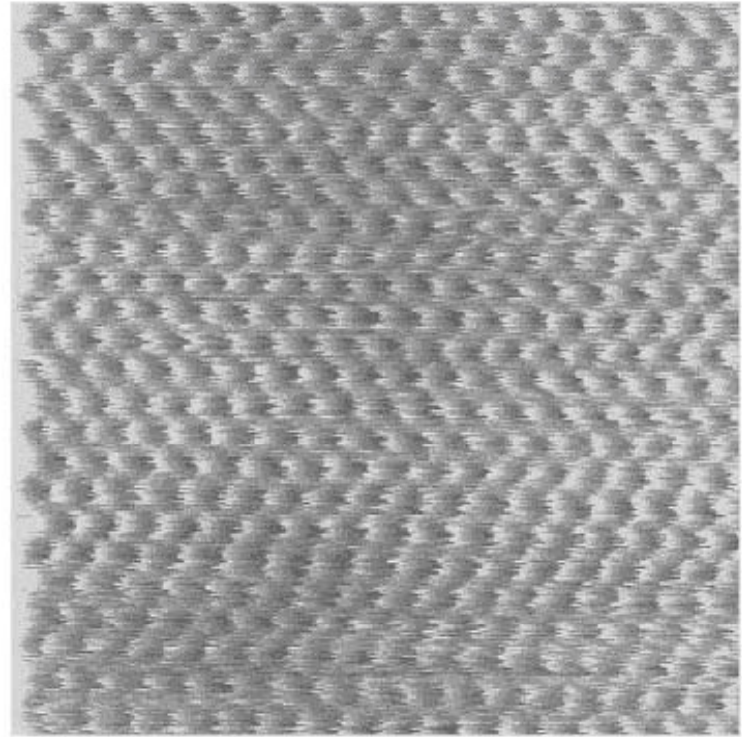
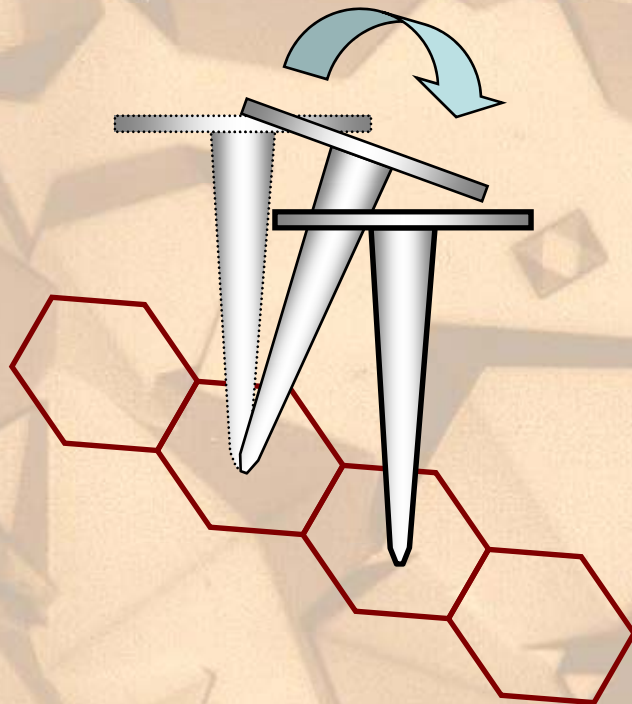
## Особенности СТМ изображений графита с атомным разрешением

- Истинное атомное разрешение (видны дефекты)
- Гигантская гофрировка до  $24 \text{ \AA}$  (в экспериментах по рассеянию He  $0.2 \text{ \AA}$ )
- Неэквивалентность соседних атомов углерода



## Особенности АСМ изображений атомов в контакте: движение с залипанием

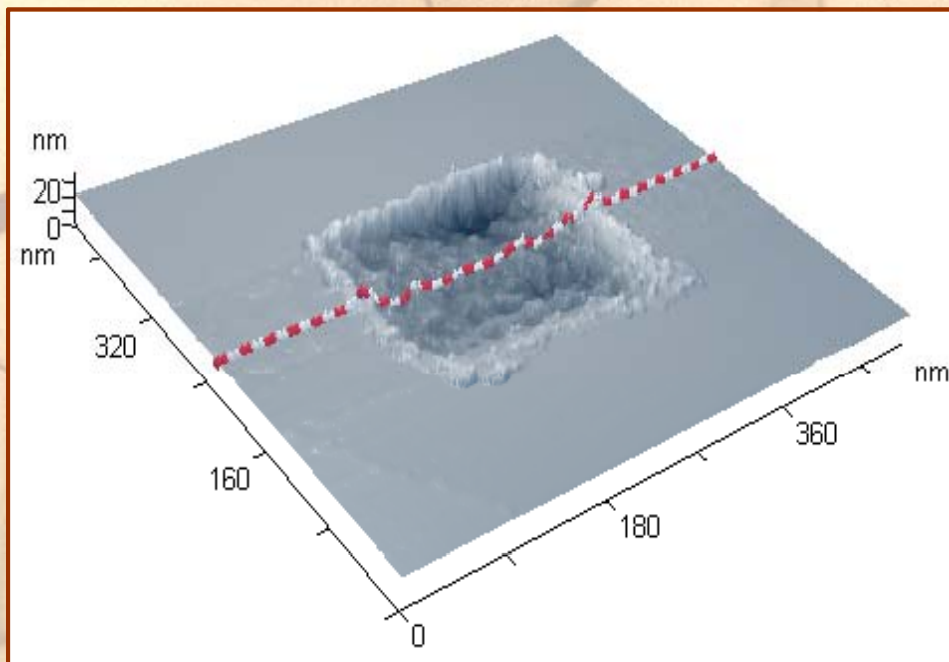
- Псевдоатомное разрешение (видна каждая элементарная ячейка)
- Изображение зависит от направления сканирования



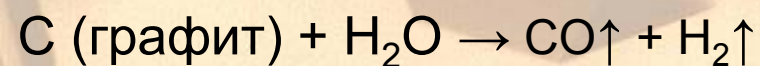
T. Sumomogi *et al.*, 1998



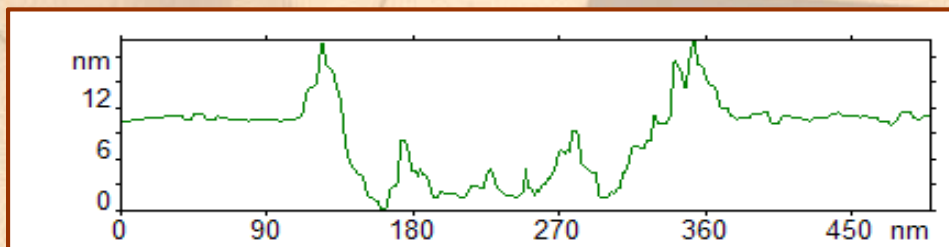
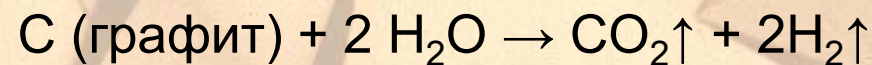
**Локальное анодное окисление (ЛАО)** - электрохимическое окисление пространственно ограниченной области поверхности образца при приложении разности потенциалов между иглой зондового микроскопа и образцом.



Полное ЛАО поверхности графита приводит к образованию полостей:

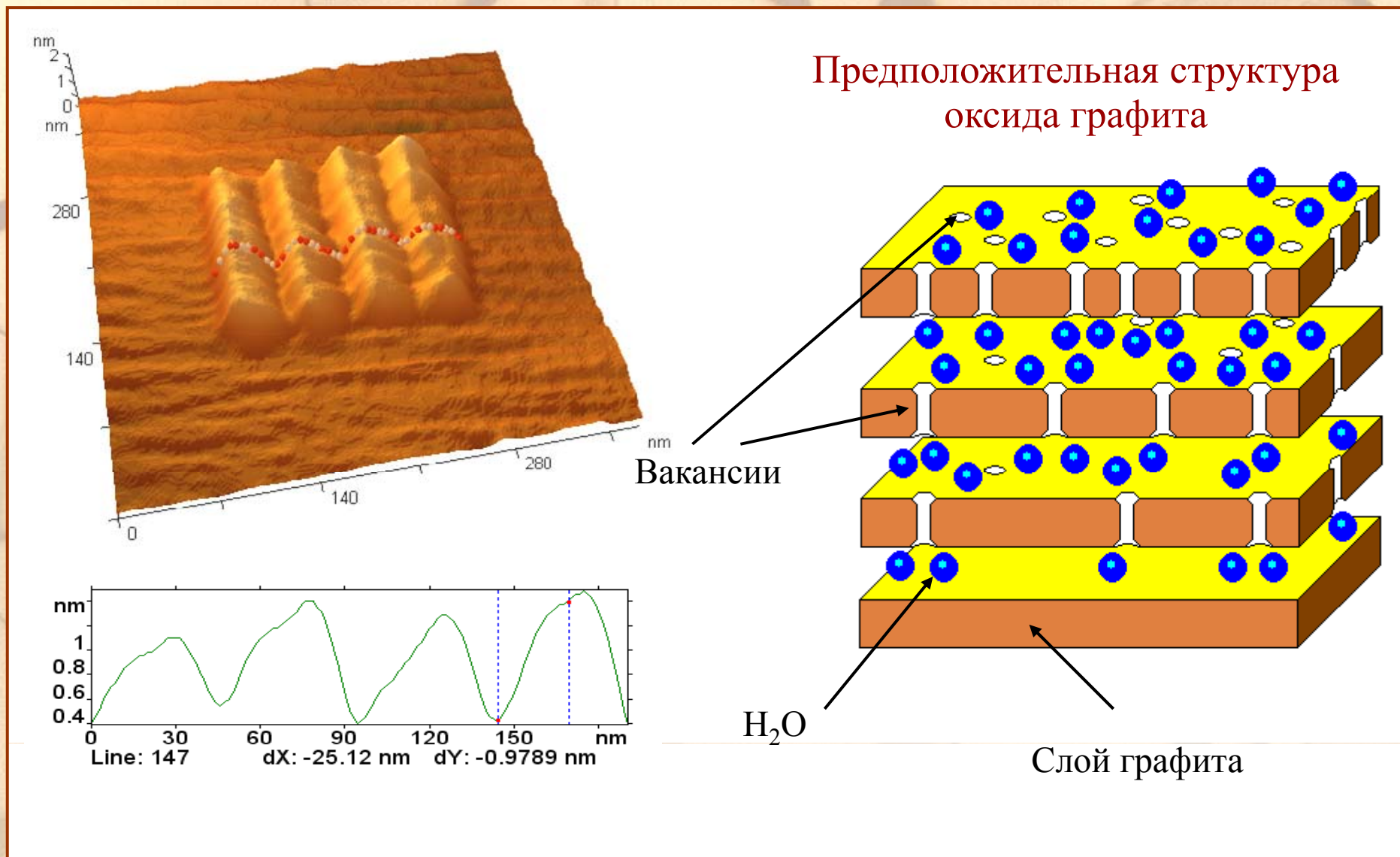


или



**Частичное локальное анодное окисление графита приводит к образованию оксида графита**

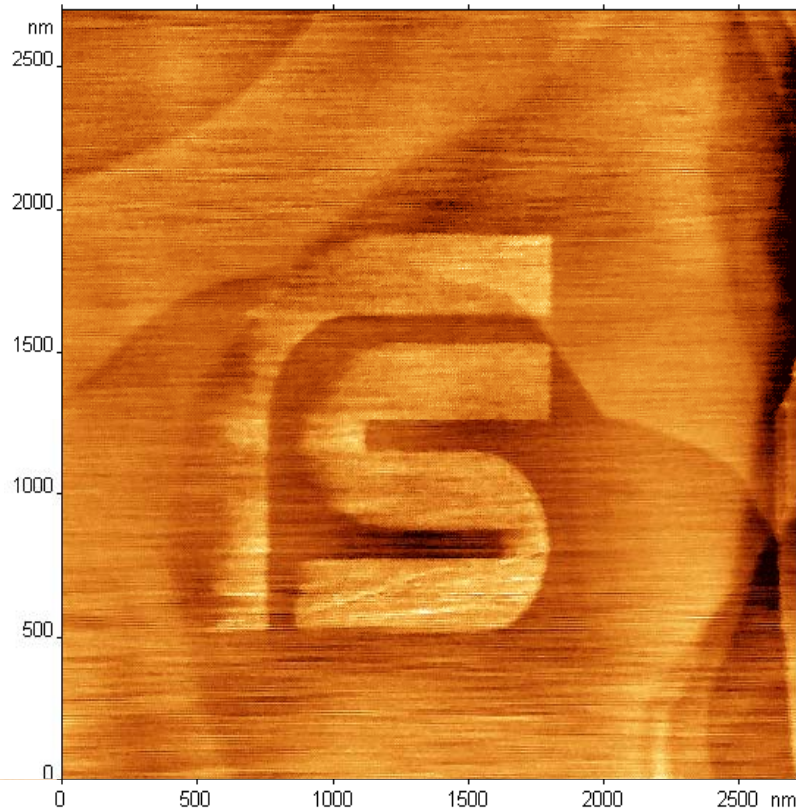
Идеализированная формула оксида графита  $C_8O_2(OH)_2$



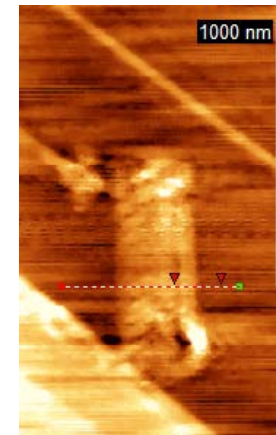


# Оксид графита является диэлектриком С удельным сопротивлением $10^3\text{--}10^7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$

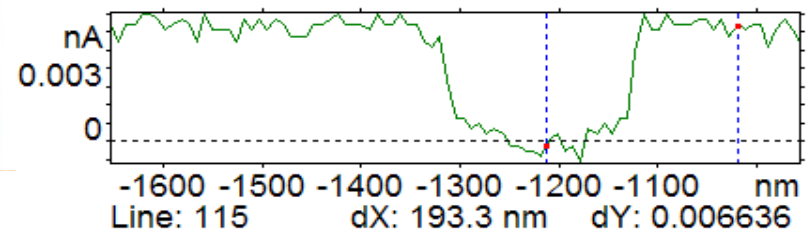
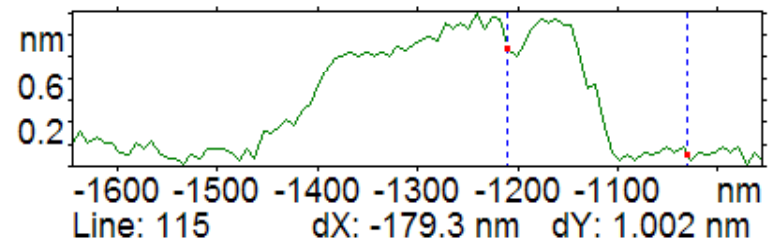
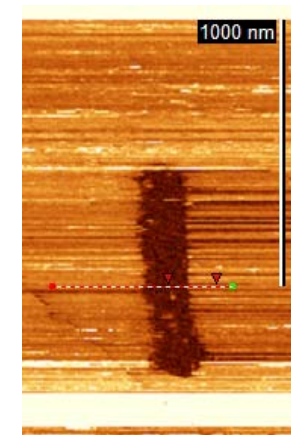
Зондовая литография позволяет  
создавать структуры любой сложности



Топографическое  
изображение



Токовое  
изображение





# Графит — источник графена

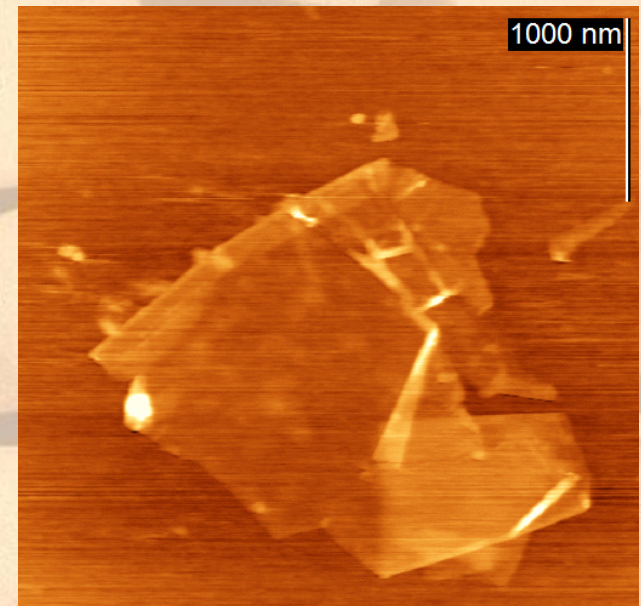
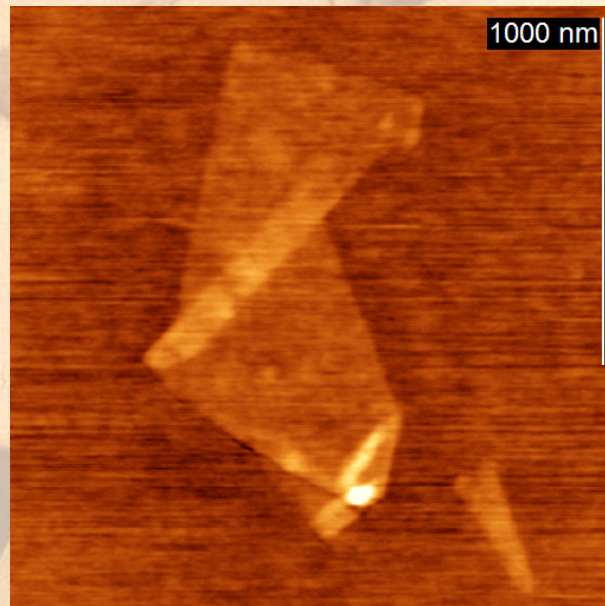
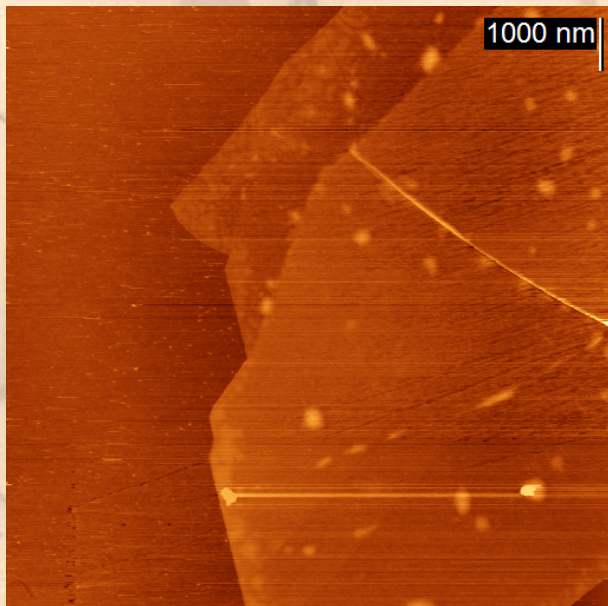
**Колоссальная**

Графен, 1 мкм<sup>2</sup>      **ЭКОНОМИЯ** 50 руб.

Графит, 10 x 10 x 1 мм<sup>3</sup>      3450 руб.

Образец графита содержит ~ 10<sup>12</sup> мкм<sup>2</sup> графена (50 триллионов руб.)

Прогнозируемый доход федерального бюджета на 2010 г. ~ 7 триллионов руб.



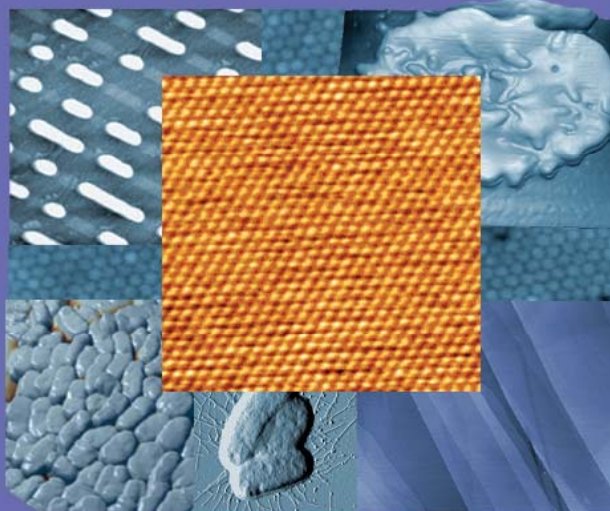
Автор изображений – Образцова Е.А.



# Графит — образец для студенческих практикумов

Лабораторная работа  
Практикум по сканирующей зондовой микроскопии

## Визуализация атомной решетки графита



ООО НПП "Центр перспективных технологий"  
Москва  
2008 г.

