

# Нанотехнологии с точки зрения химика

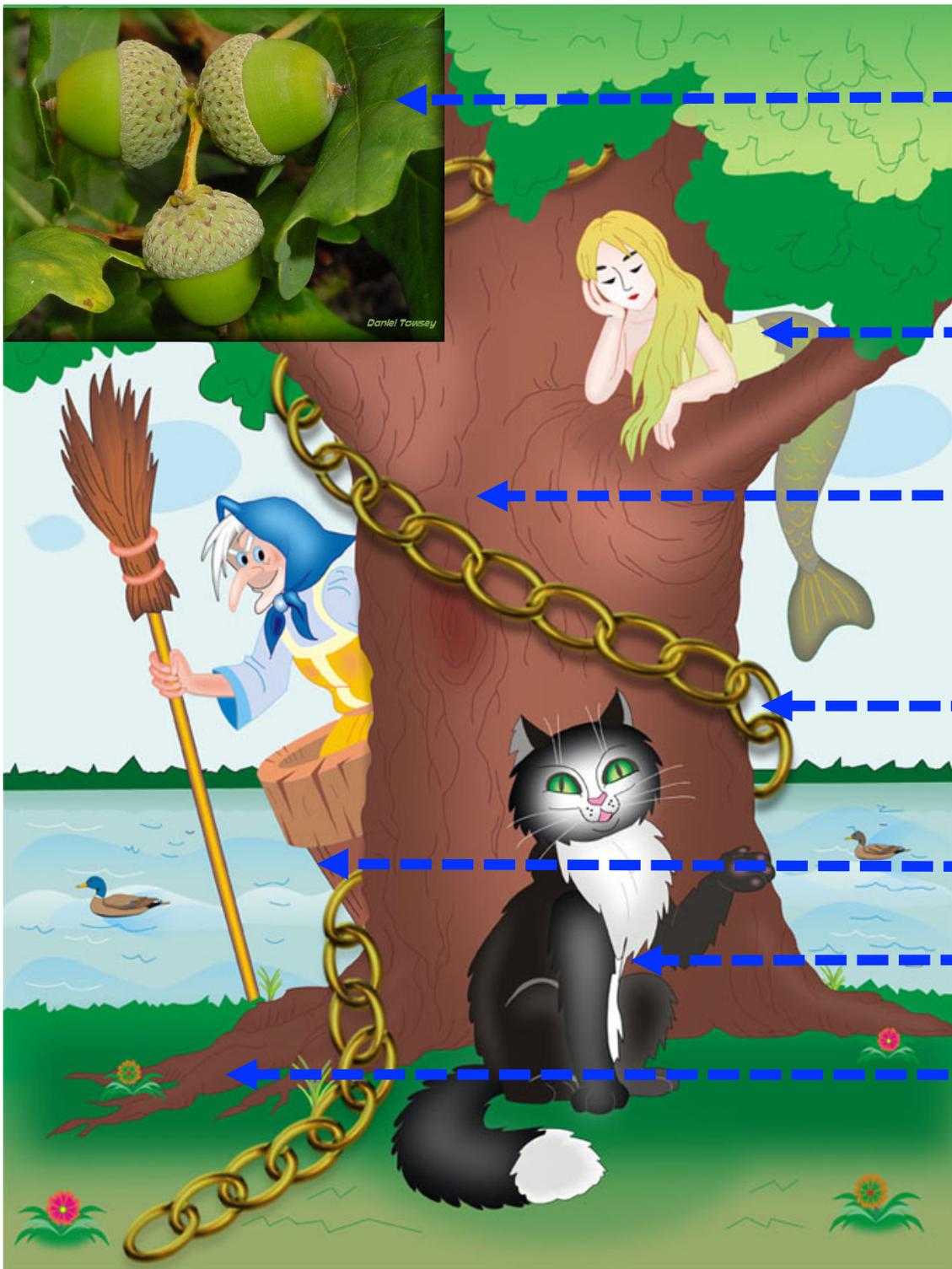


**Гудилин Е.А.**  
***МГУ имени М.В.Ломоносова***

# “Нано” – $10^{-9}$ (от греч. гном)

## “Нано” - критерий

- Размер частиц меньше  $R_{критич}$  (по разным источникам  $R_{критич} = 10 \div 1000$  нм)
- Свойства *наночастиц*, отличны от свойств объемной фазы. Размер должен быть соизмерим (или меньше) с корреляционным радиусом того или иного физического явления (например, с длиной свободного пробега электронов, фононов, длиной когерентности в сверхпроводнике, размерами магнитного домена или зародыша твердой фазы и др.)
- По рекомендации IUPAC  $R_{критич} = 100$  нм.



**Наноиндустрия**

*Плоды*

**социум**

**Нанотехнологии**

*Стержень*

**Наноматериалы**

*Материализация мечты*

**практика**

**идеи**

**Нанонаука**

*Фундаментальные основы*

- Размер
- Соотношение поверхность / объем
- Избыточная поверхностная энергия
- Отсутствие дефектов
- Квантовые эффекты
- Туннелирование между частицами
- Эффекты «близости»

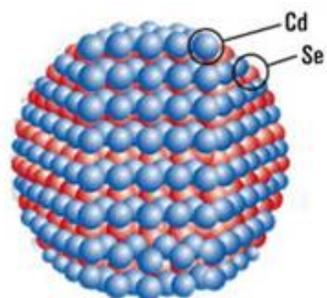
Миниатюризация  
Высокая  
плотность  
магнитной  
записи  
MEMS, ...

Катализ  
Эффективность

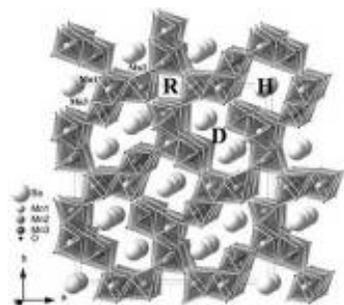
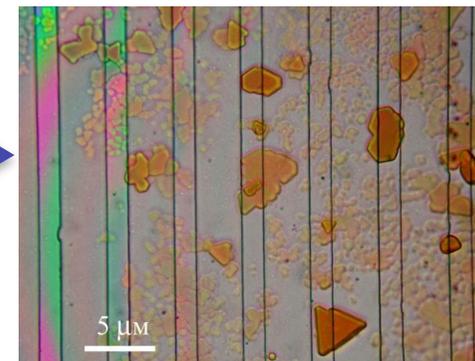
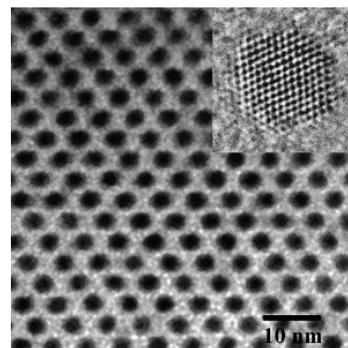
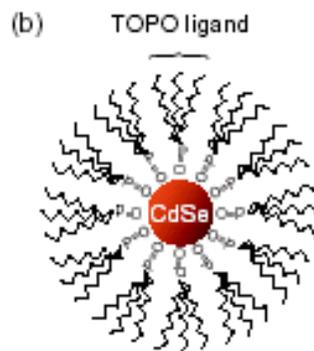
Новые эффекты/свойства  
Суперпарамагнетизм  
Квантовые точки

Реакционноспособность  
Необходимость изоляции  
Модификация пов-ти

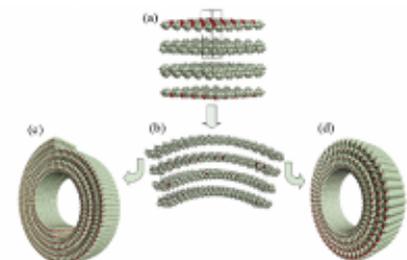
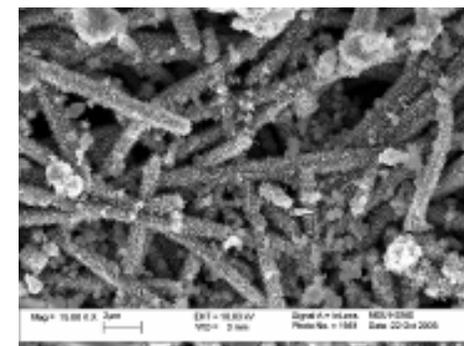
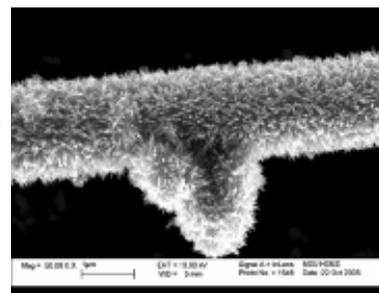
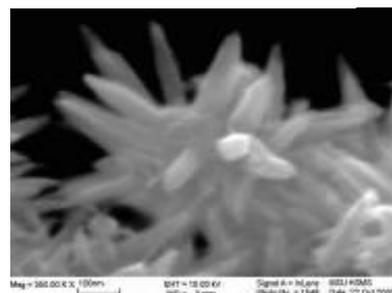
# Иерархия структур и наноматериалы



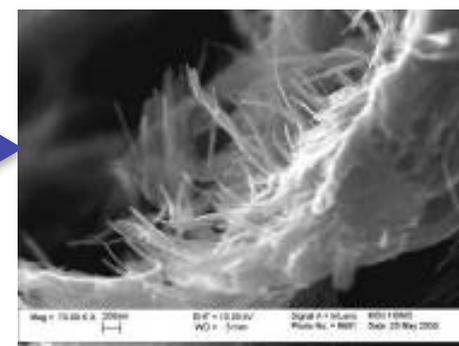
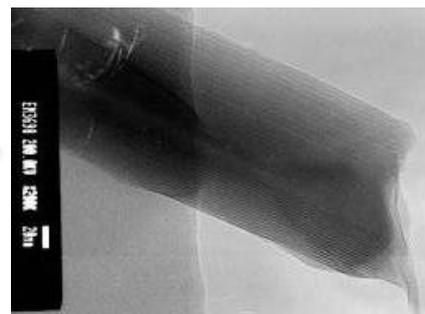
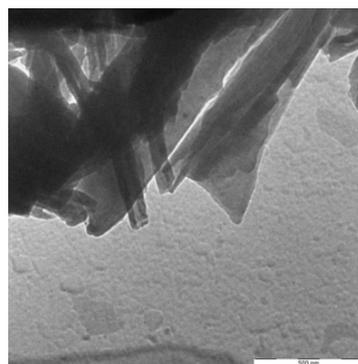
**Квантовые точки**



**Каркасные  
манганиты**



**Нанотрубки  
VO<sub>x</sub>**



**АТОМЫ, МОЛЕКУЛЫ**

**БЛОКИ**

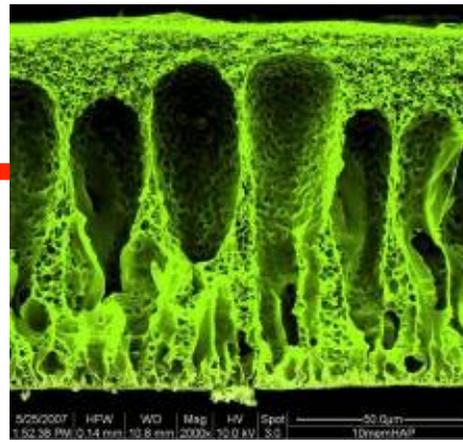
**НАНОСТРУКТУРА**

**АССОЦИАТЫ**

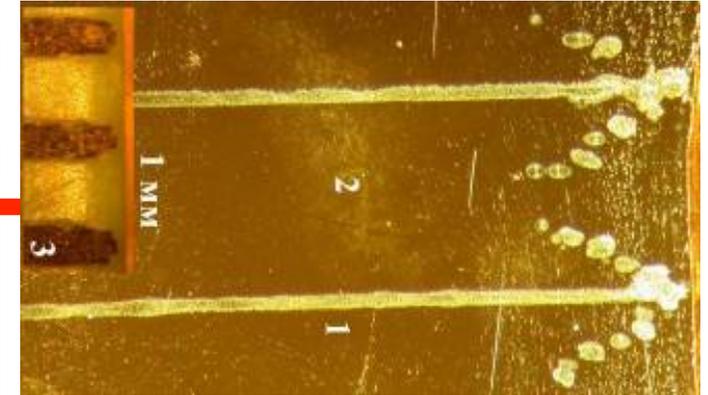


**«Наночуровень» структуры (1 - 100 нм) существует всегда, и если он предопределяет свойства материала, то говорят о наноматериале.**

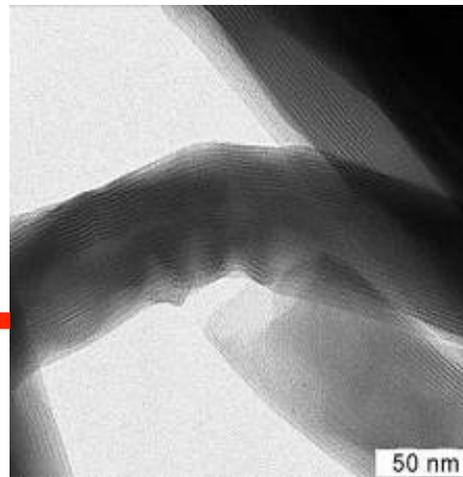
- Объемные (3D) наноструктурированные материалы: металлы и сплавы с ультрамикрзернистой структурой, нанокерамика



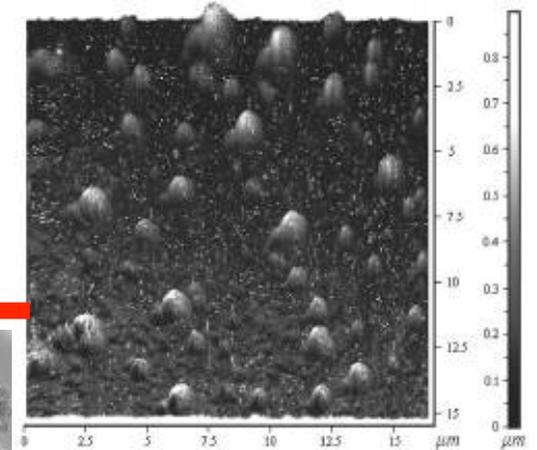
- Наноструктурированные планарные материалы 2D: пленки и покрытия, нанопечатная литография, самособирающиеся монослои



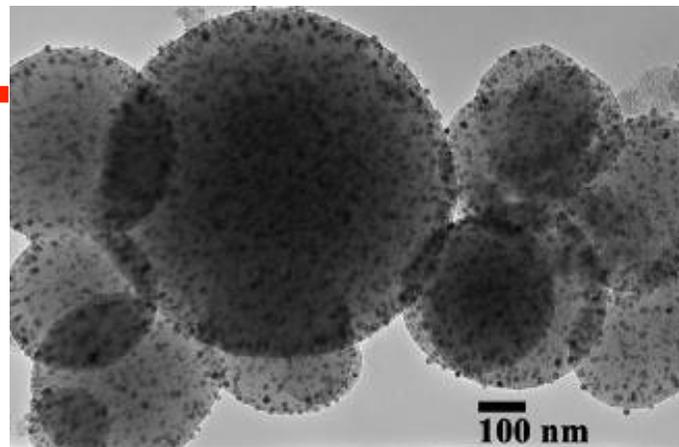
- Наноструктурированные (1D) материалы: нанотрубки, нановолокна, наноагрегаты и нанопроволоки



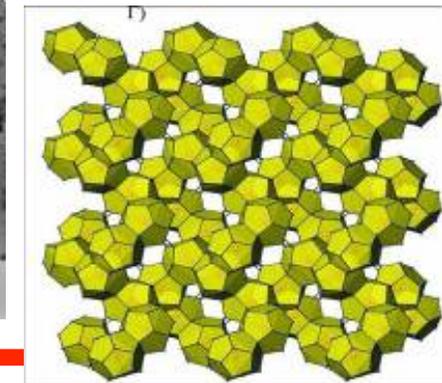
- Нанодисперсные (0D) материалы: нанопорошки, нанокристаллы, квантовые точки



- Нанокompозиты: наноструктурированные матрицы, наночастицы в керамической, металлической или полимерной матрице

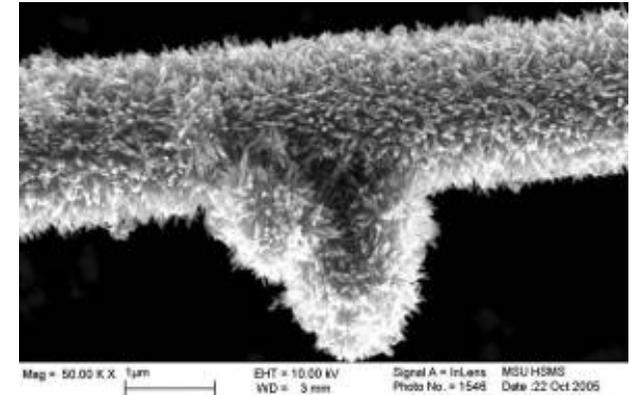


- Супрамолекулярные материалы

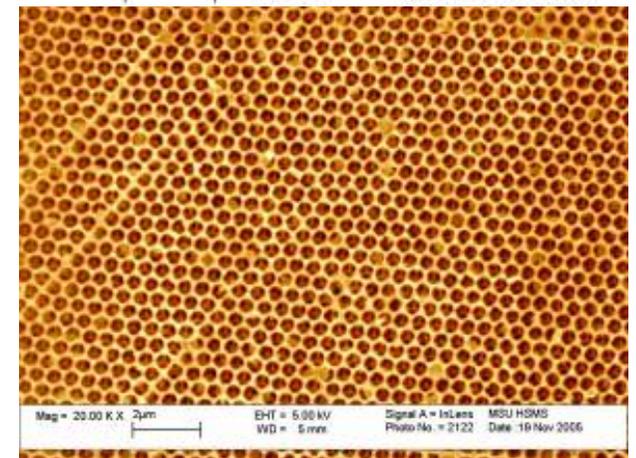


# Фундаментальные направления исследований

- **Фундаментальные особенности наносостояния**, включая влияние размерного фактора, анизотропии и размерности, морфологические и структурные особенности

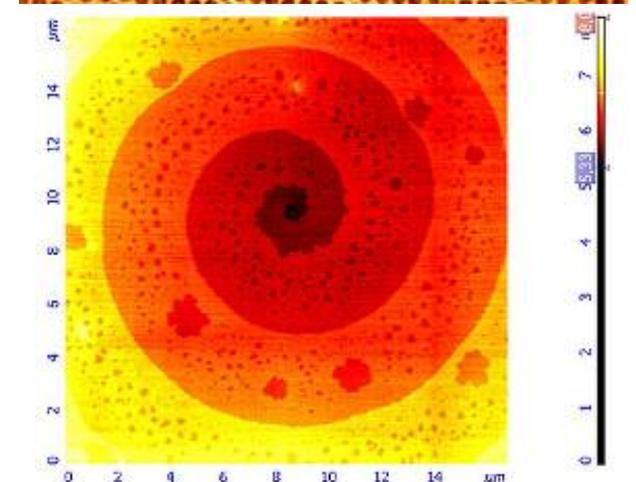


- **Новые подходы к созданию наноматериалов**, включая процессы самосборки и самоорганизации

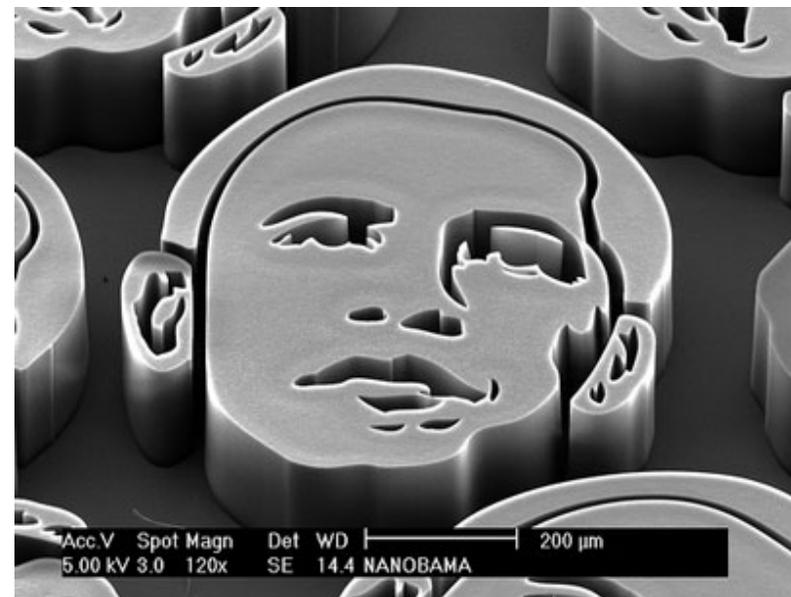
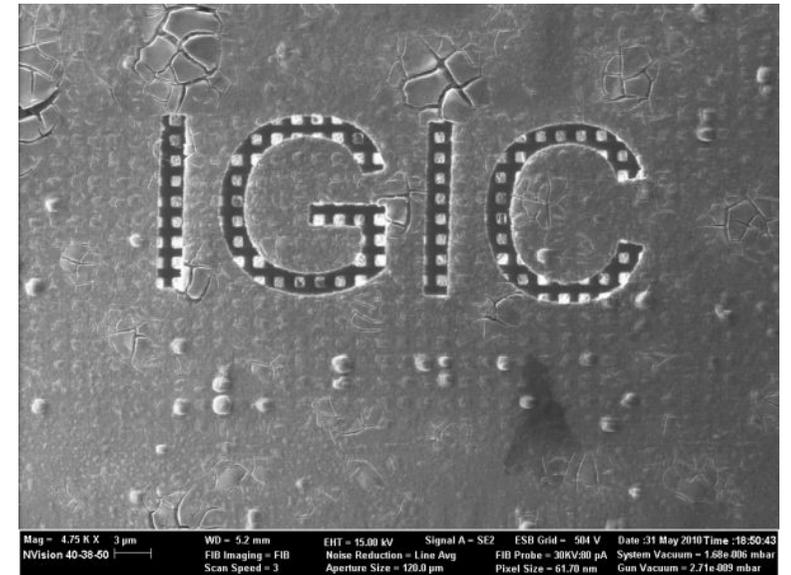


- **Исследование взаимодействий в ансамблях наночастиц**

- **Моделирование наноматериалов и процессов их формирования**

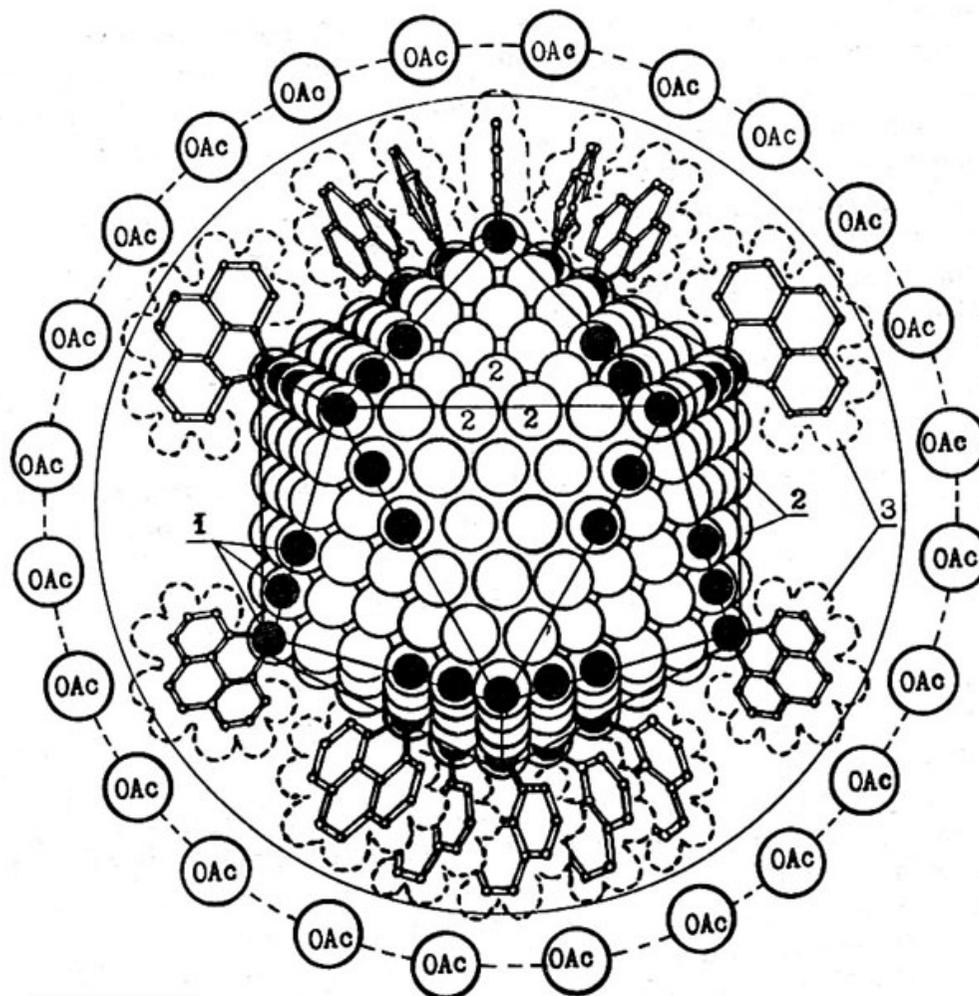


# Стремление к новым технологиям



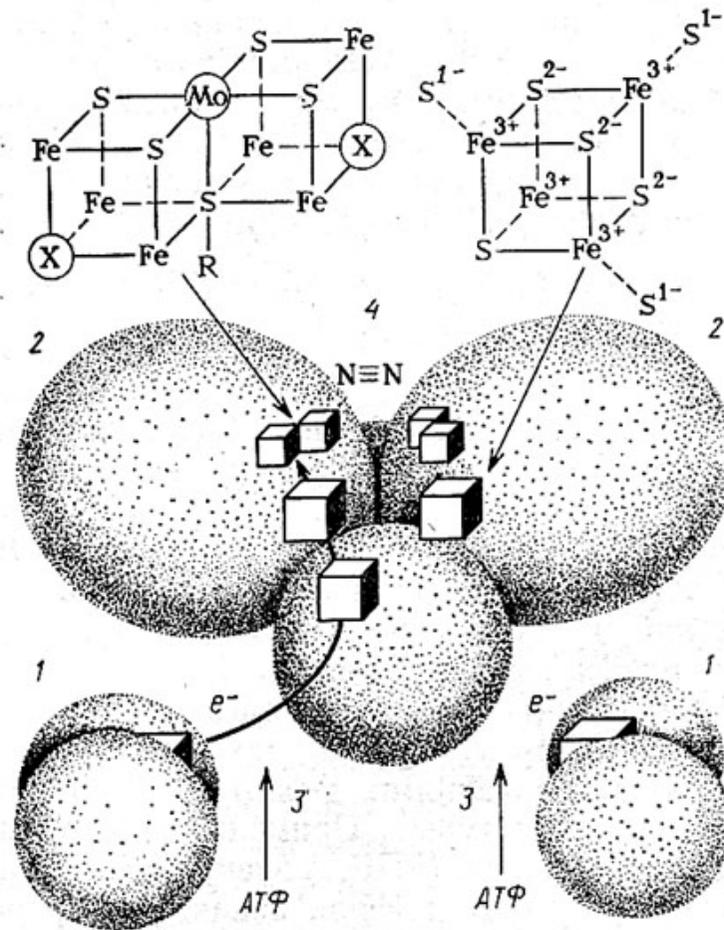
[www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)

# Гигантские кластеры



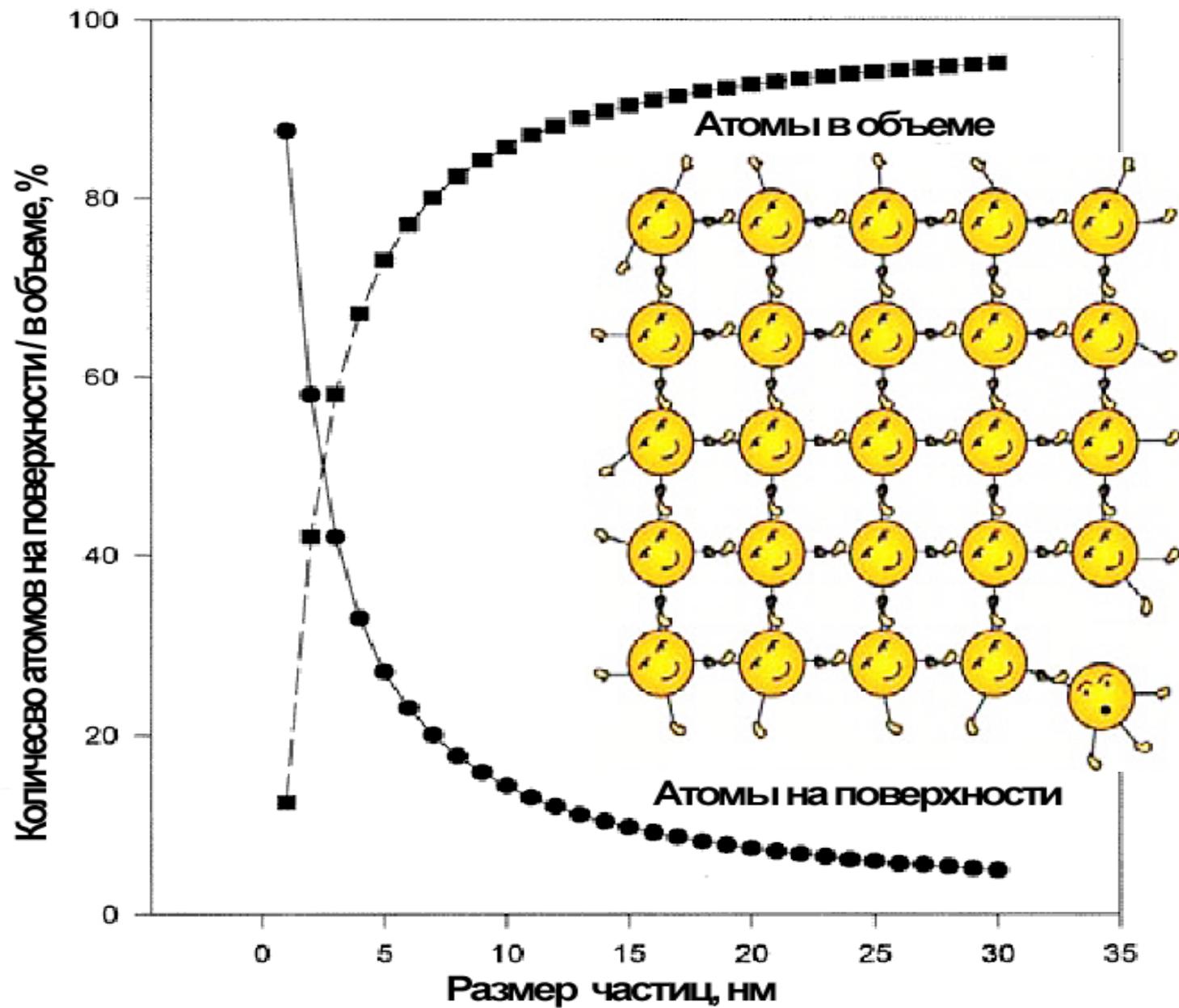
Предполагаемое строение гигантского кластера палладия  
 $\text{Pd}_{561}\text{L}_{60}(\text{O}_2)_{180}(\text{OAc})_{180}$

# Ферменты

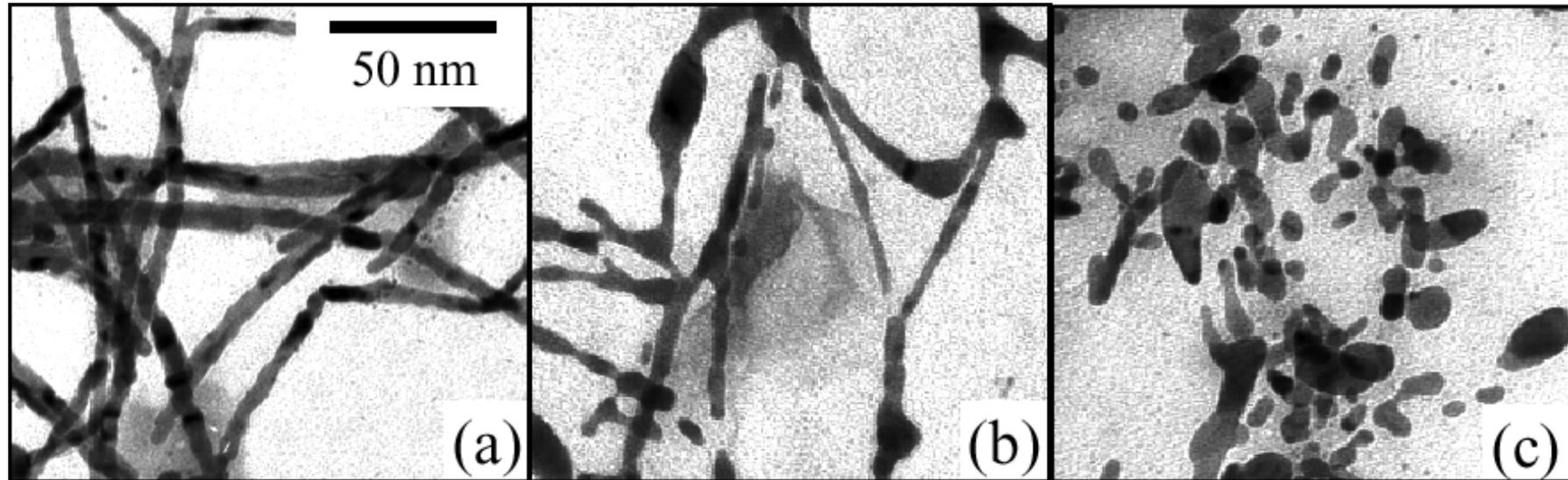


Модель фермента нитрогеназы:  
 1 — Fe-белок; 2 — MoFe-белок; 3 — АТФазный центр; 4 — субстрат-  
 связывающий центр. Вверху — предполагаемая структура  $Fe_4S_4$ -клас-  
 теров и MoFe-кофактора.

# Вклад поверхности



# Изменение термической стабильности



150 °C

200 °C

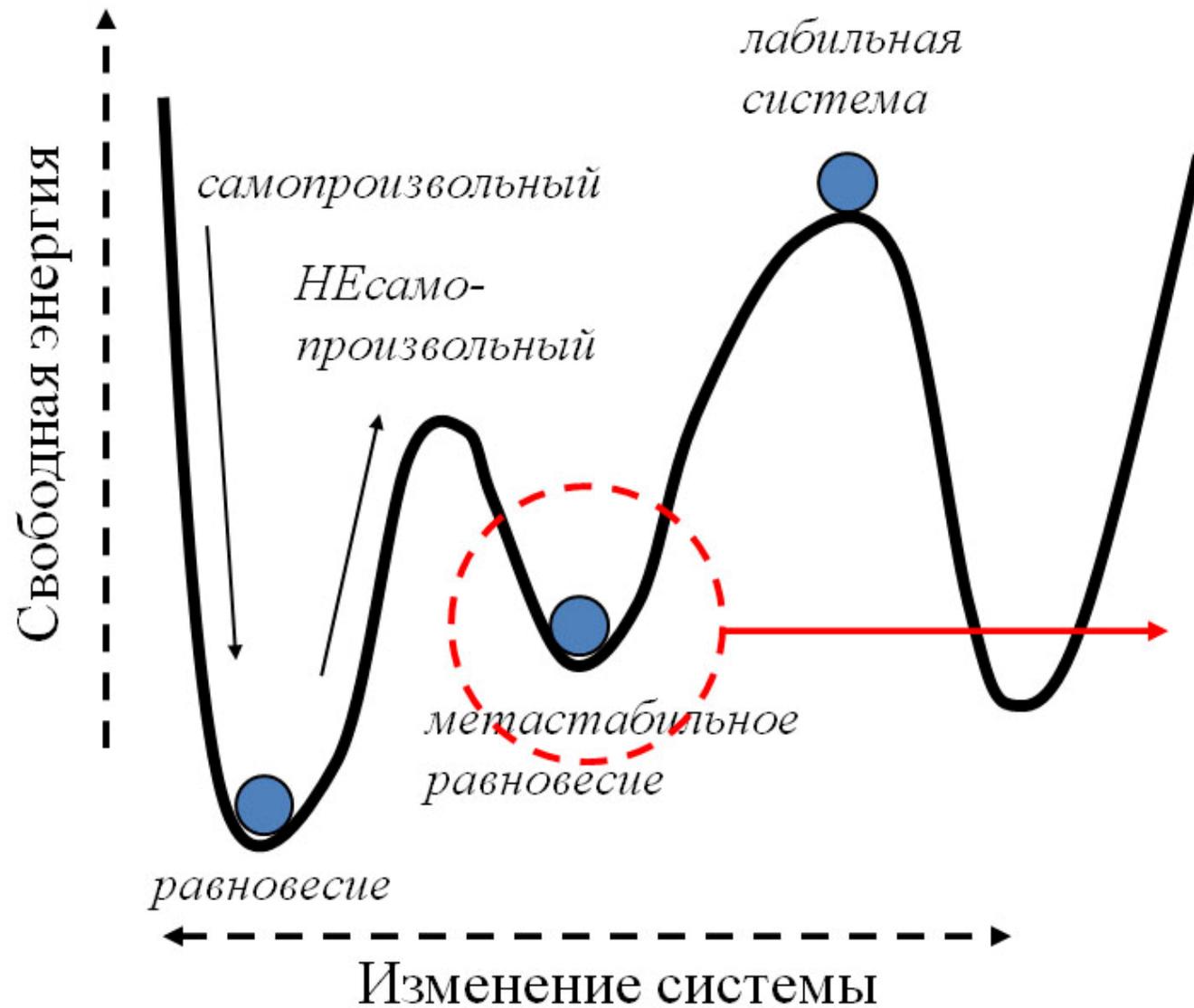
300 °C

C. Jinwoo et al., *Mat. Res. Soc. Symp.*, 2001, 635, C. 3.3.1-3.3.6.

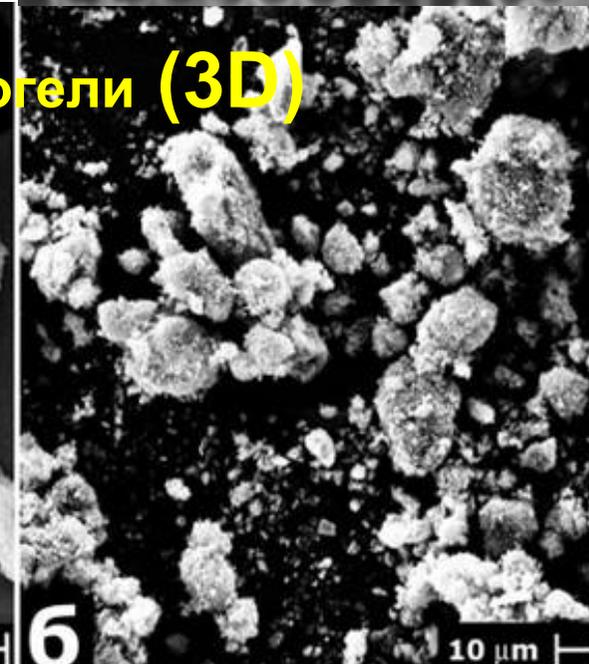
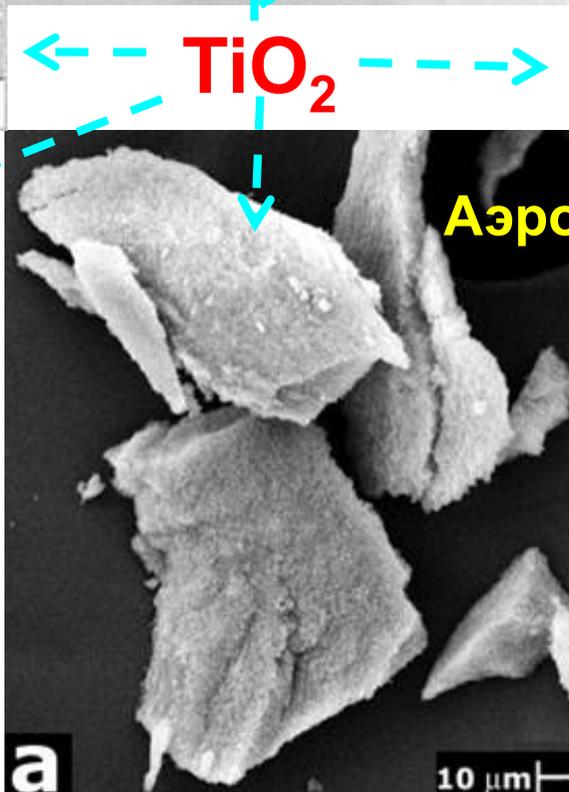
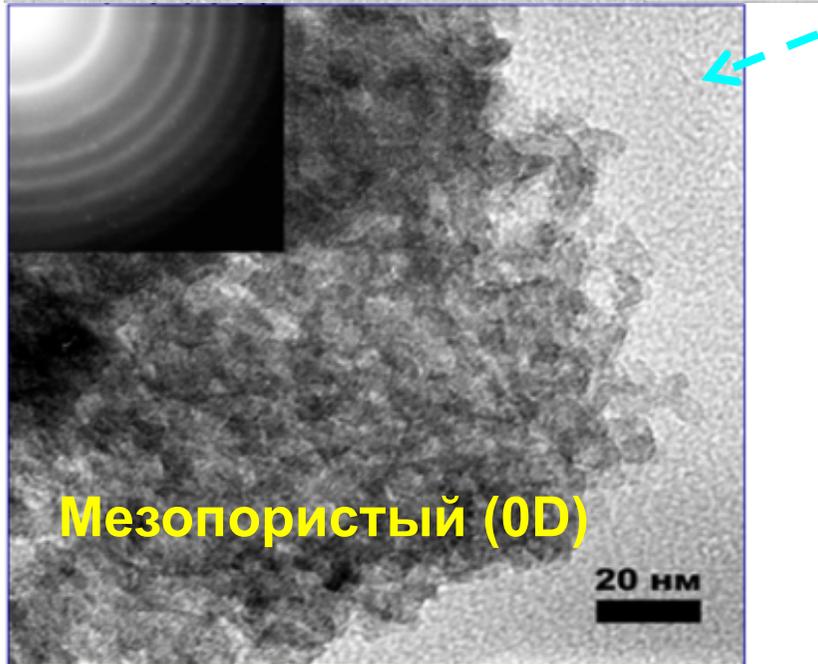
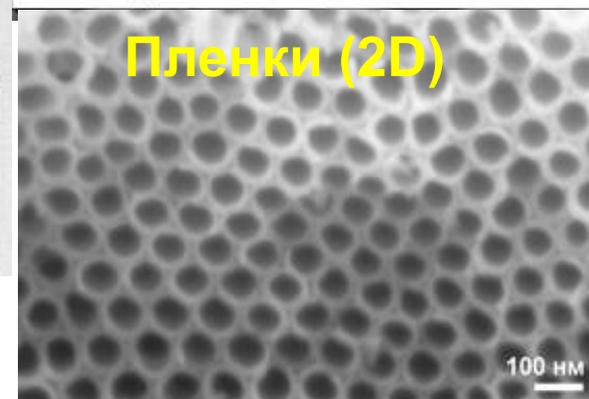
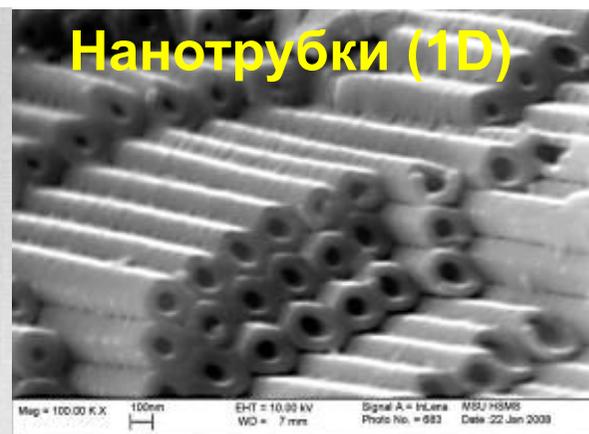
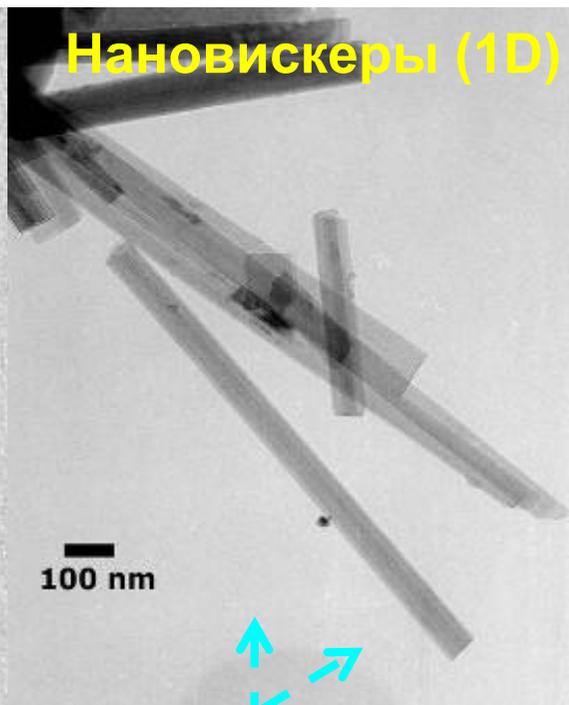
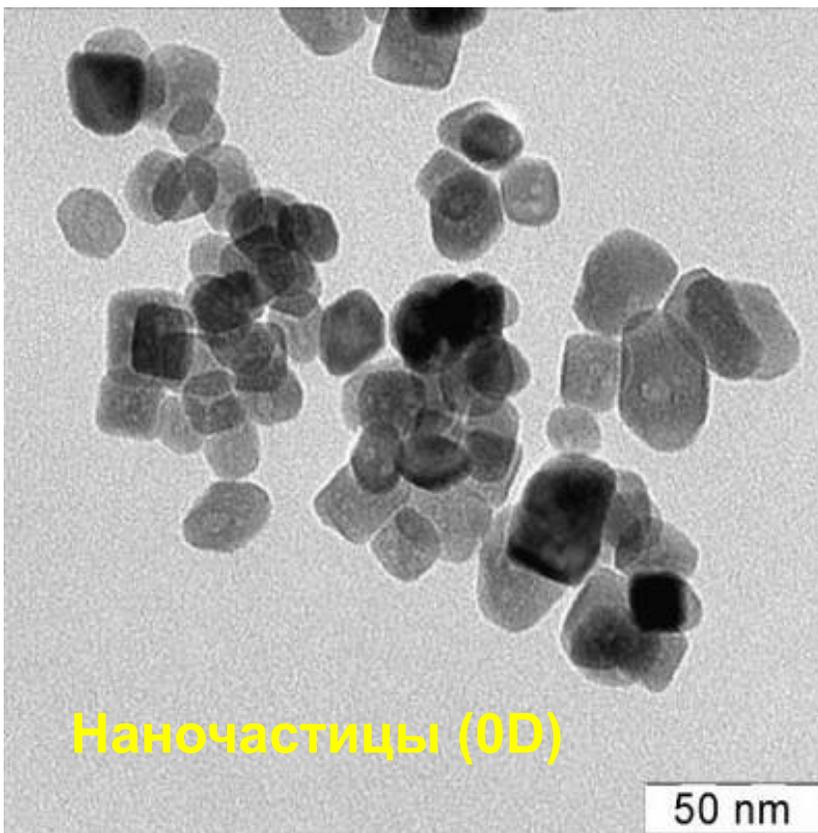
ФНМ МГУ

УД-материалы

Москва, 2011 г.



- Фактор времени
  - Зависимость от пути перехода
  - Дефекты, «состав-структура-свойства»
- ↓
- Разные формы материалов**



←  $\text{TiO}_2$  →

Four dashed cyan arrows point from the central  $\text{TiO}_2$  text towards the four main images: up to nanowires, right to nanotubes, down to aerogels, and left to nanoparticles.

# «Сверху» или «снизу»?..

Процесс формирования наноструктур по принципу **«сверху-вниз»** предусматривает обработку макромасштабного объекта или структуры и постепенное уменьшение их размеров, вплоть до получения изделий с нанометровыми параметрами...

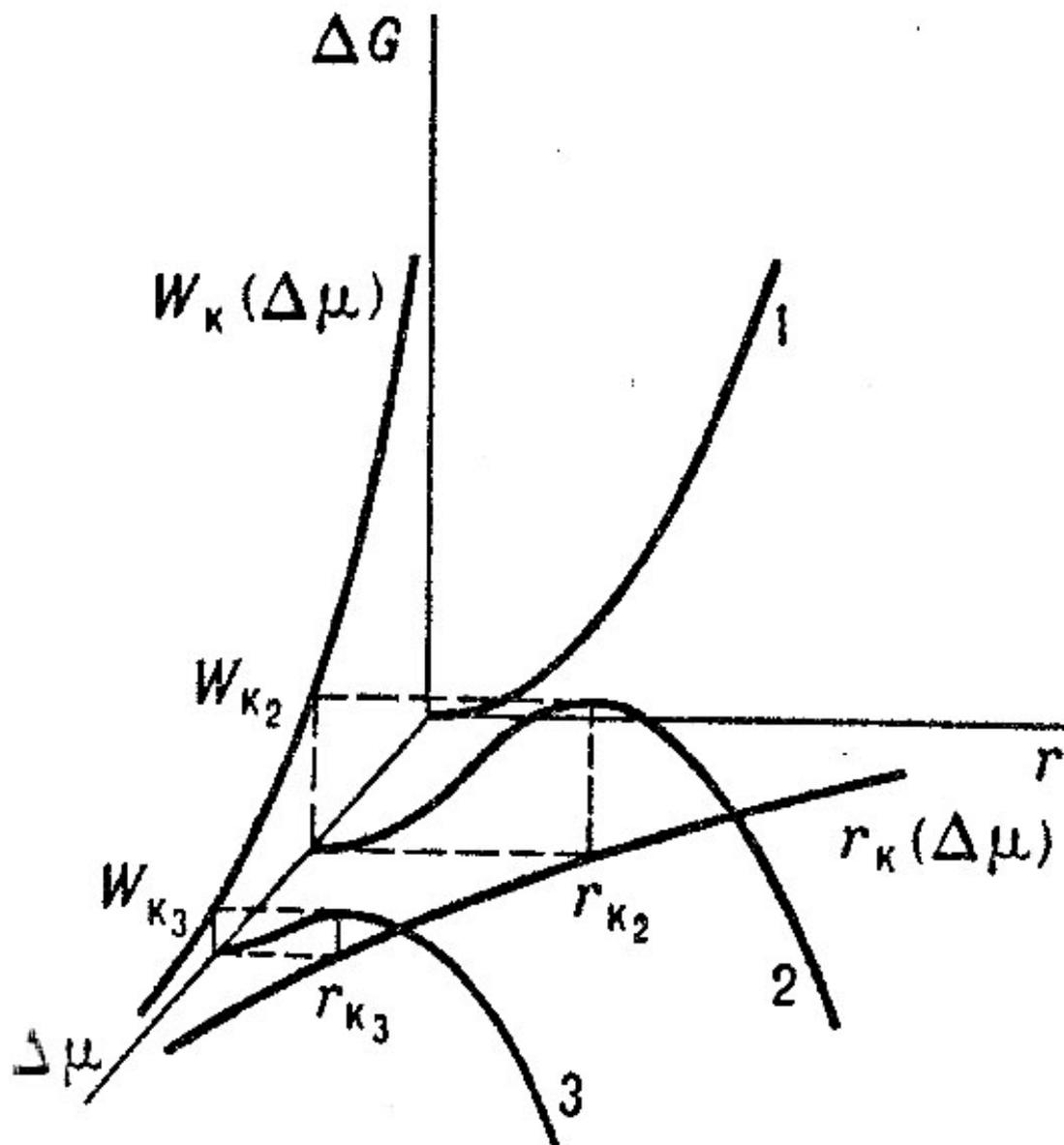
Технология **«снизу-вверх»** заключается в том, что при создании наноструктур набирают и выстраивают отдельные атомы и молекулы в упорядоченную структуру...

# Основные методы синтеза наноматериалов

*Рост / Диспергирование или матричная изоляция?  
Включение наноструктур в матрицу или  
прямой синтез наноструктур в матрице?*

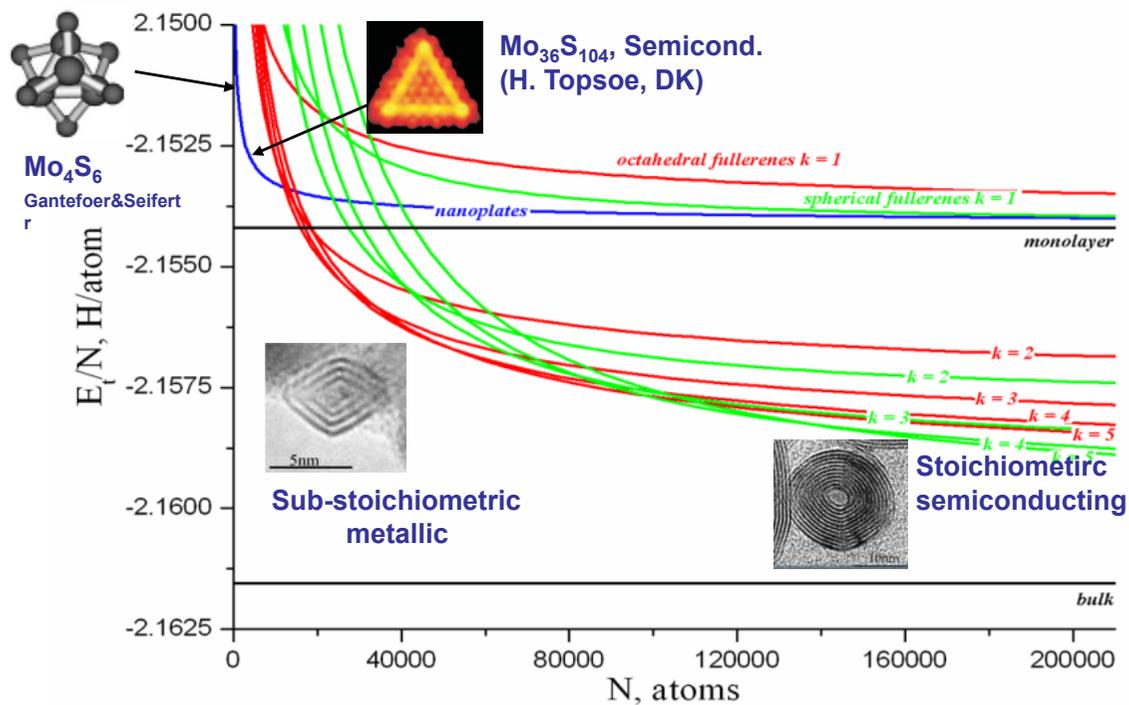
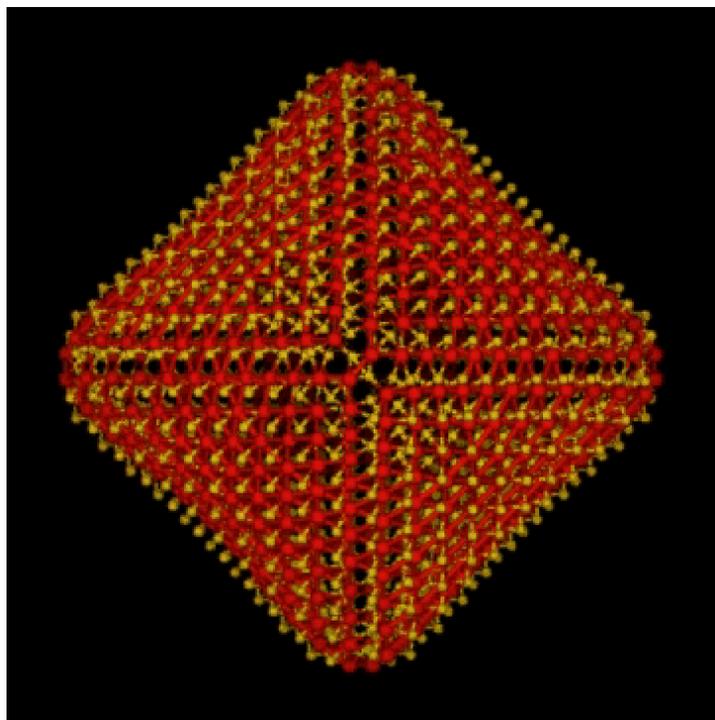
- Получение кластеров, кластерные серии («сборка»)
- Пиролиз / сажа (фуллерены), механо-, электро-, криодиспергирование и пр. («разборка»)
- Методы химической гомогенизации (молекулярное смешение)
- Микрореплики, литография, самосборка
- Полимеризация / каркас
- Золь-гель (трехмерные структуры)
- Нанореакторы (нанотрубки, мезопористые матрицы (1D), слоистые двойные гидроксиды, глины (2D), цеолиты (3D)), темплаты

# Зародышеобразование



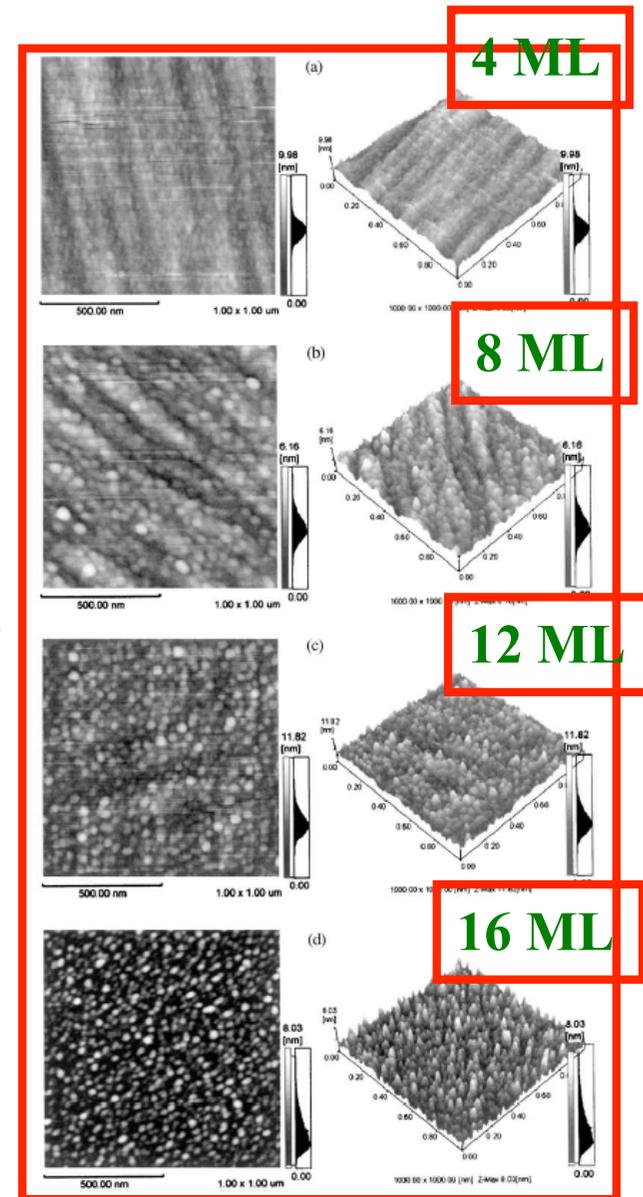
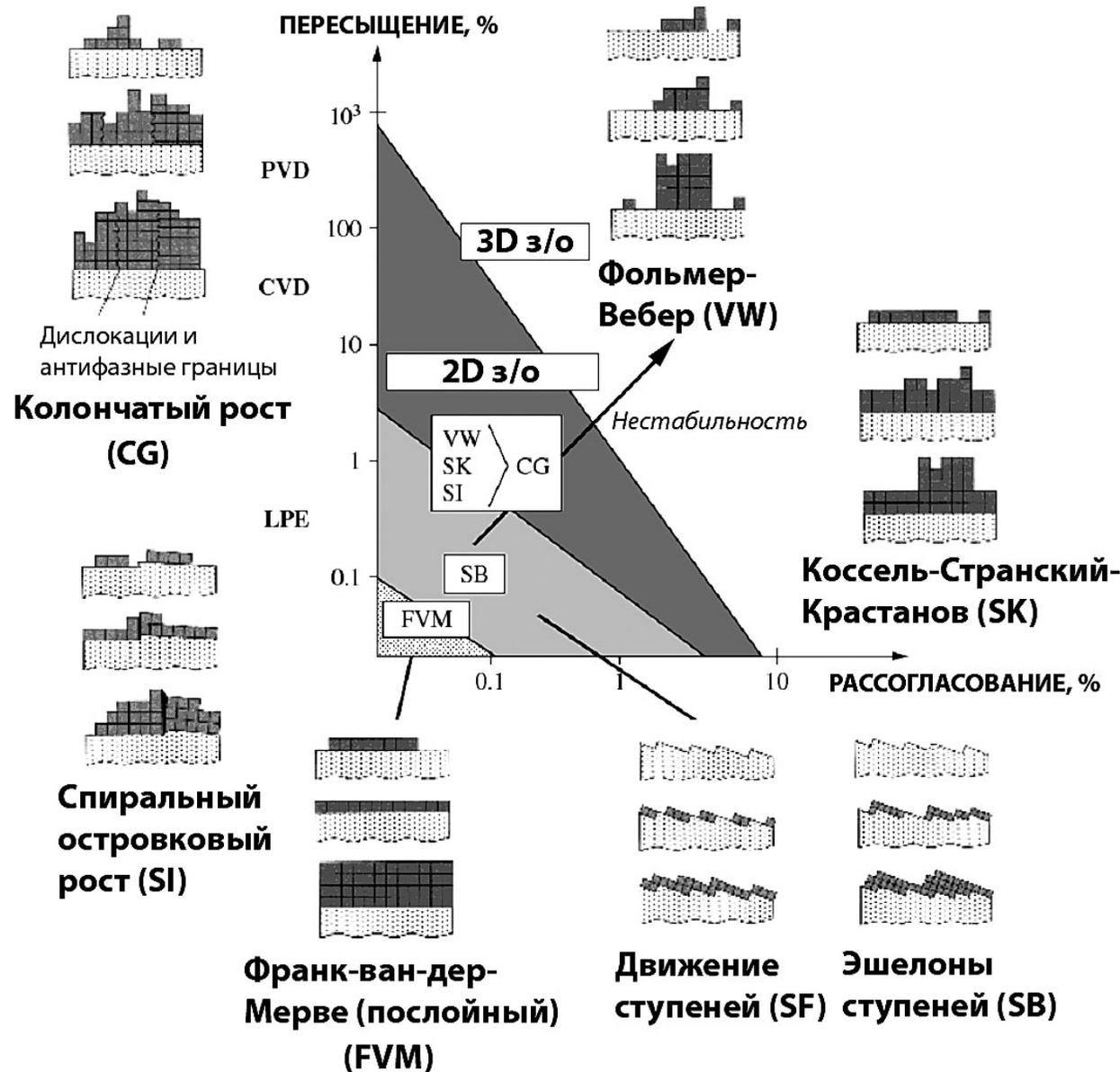
Для возникновения критического зародыша необходимо затратить работу  $W_k$  равную трети его поверхностной энергии, что можно отождествить с высотой энергетического барьера при зародышеобразовании – его преодоление осуществляется флуктуационным путем. Чем больше глубина внедрения в метастабильную область ( $\Delta\mu$ ), тем ниже высота энергетического барьера.

# MoS<sub>2</sub>

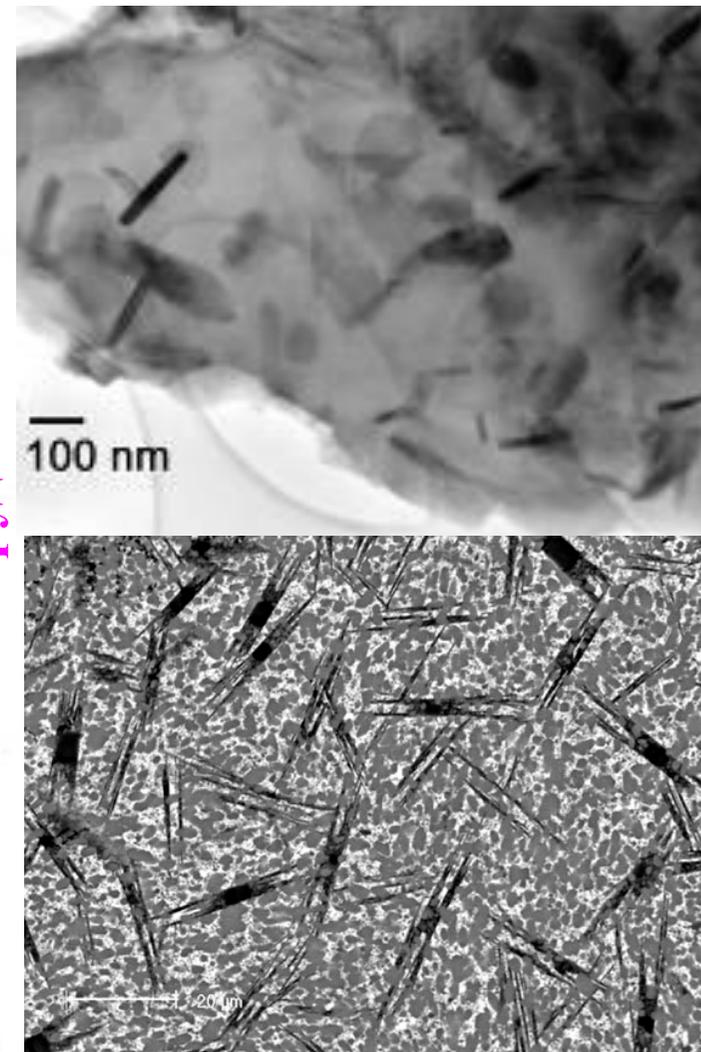
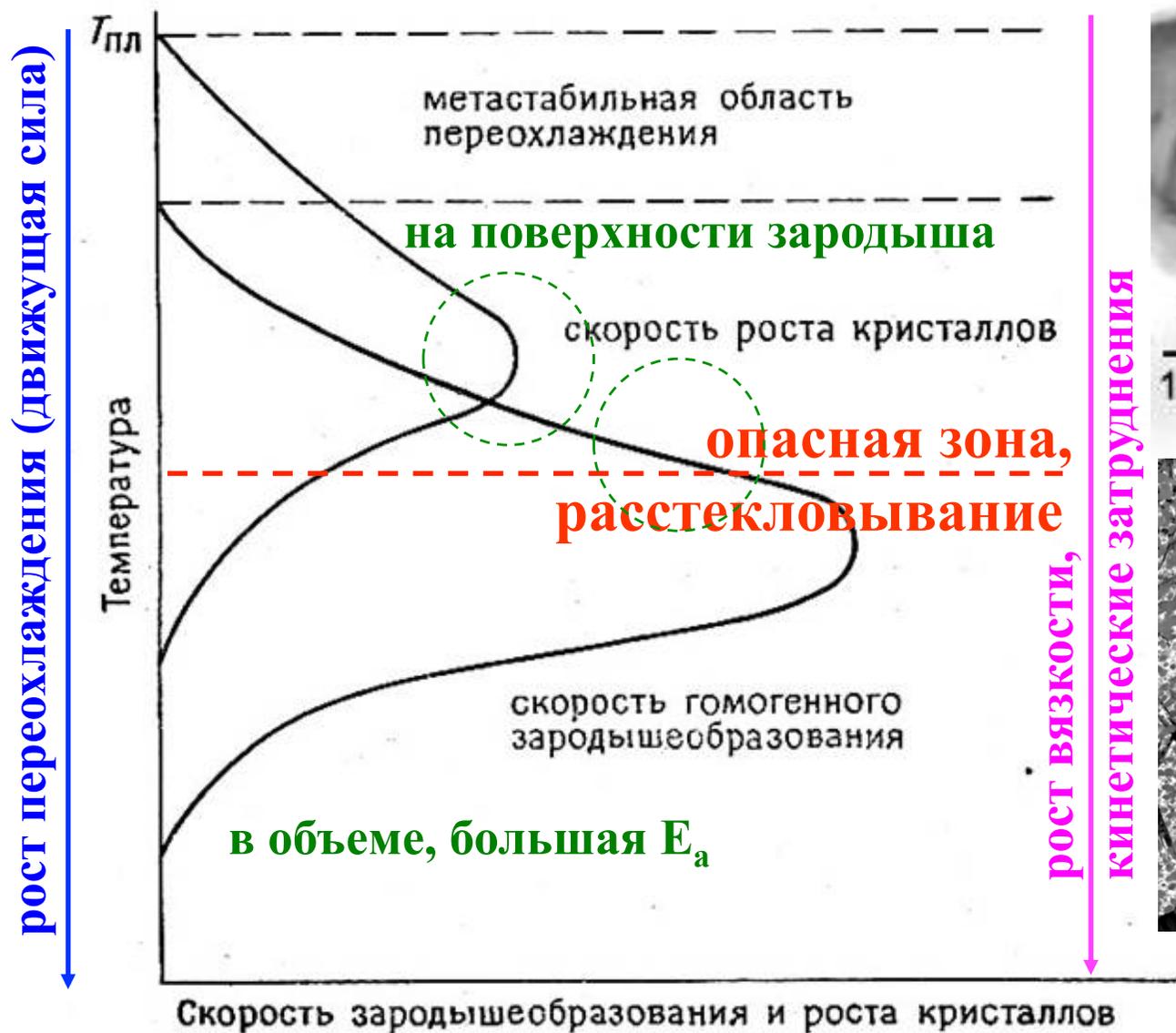


A.N. Enyashin, S. Gemming, M. Bar-Sadan, R. Popovitz-Biro, Y. Prior, R. Tenne, G. Seifert,  
*Angew. Chem. Intl. Ed.*, 46, 623 (2007) & *J. Phys. Chem. B*, 110, 25399 (2006)

# «Самоорганизация» КТ

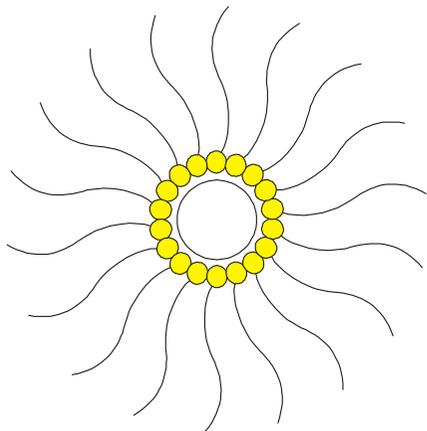


# Кристаллизация в аморфной фазе

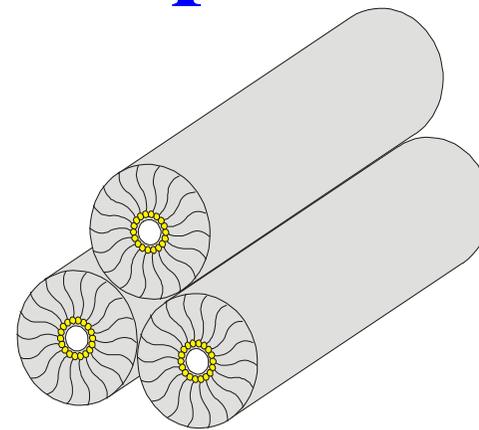


Магнитный субмикрокомпозит на основе гексаферрита стронция.

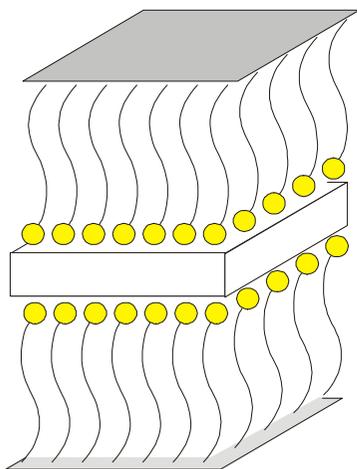
# Синтез в нанореакторах



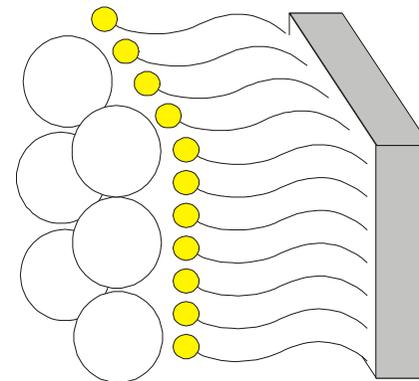
Обращенные мицеллы



Синтез в жидких кристаллах

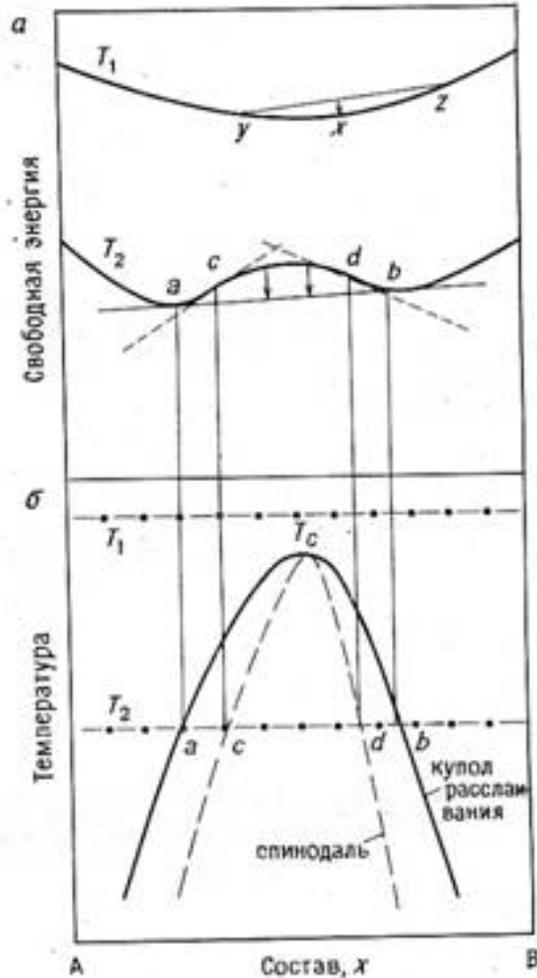


Самособирающиеся слои



Пленки Лангмюра-Блоджетт

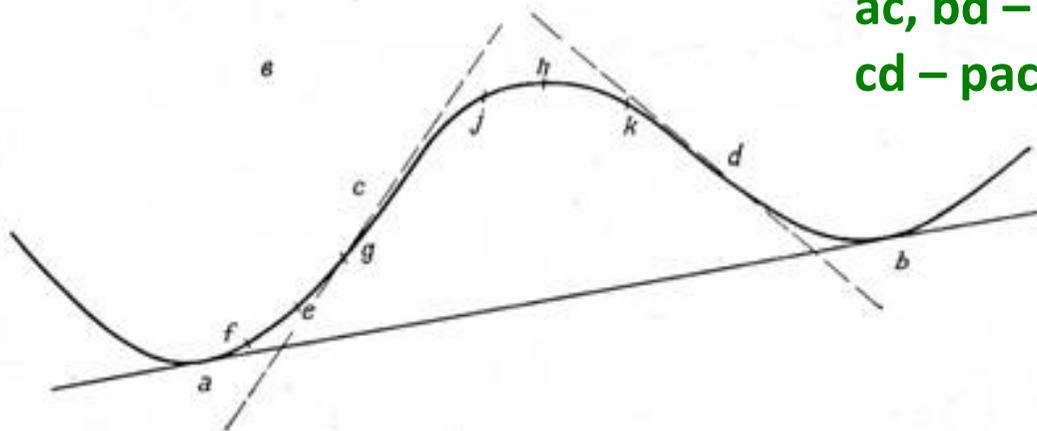
# Спинодальный распад



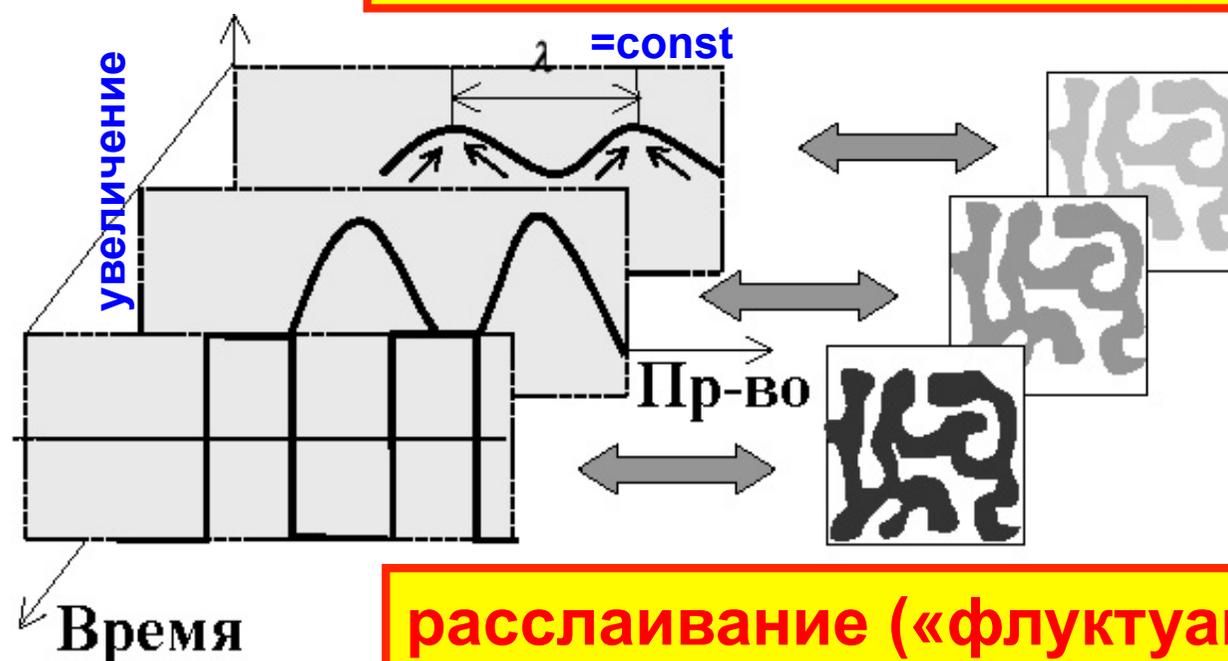
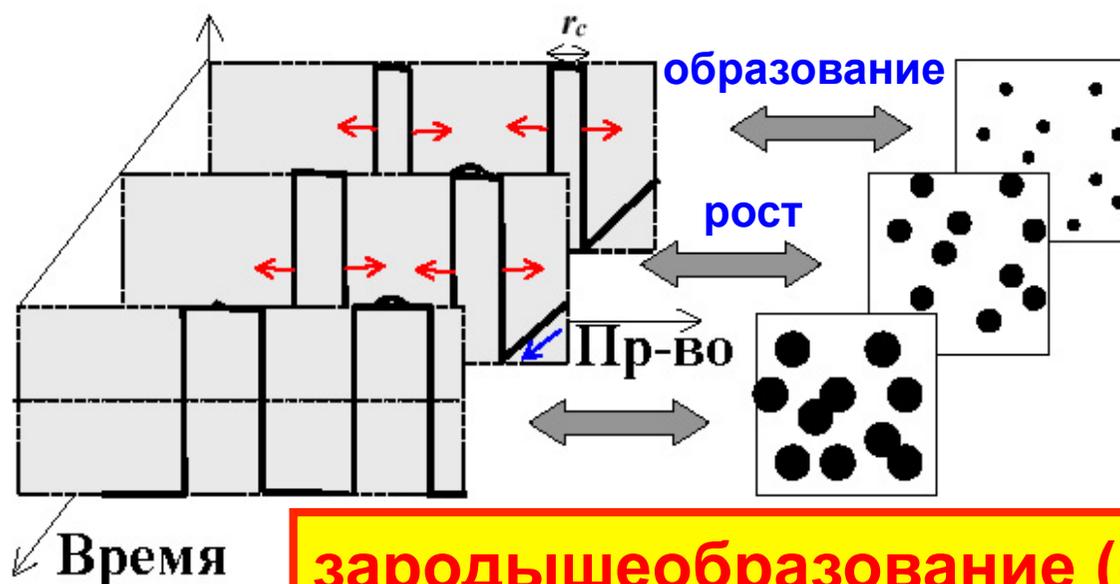
**Критерий** – перегиб (обращение в 0 второй частной производной по составу) кривой энергии Гиббса, что приводит к «автоусилению» возникающих флуктуаций состава и расслаиванию системы.

*(конкуренция гетероатомного и гомоатомного взаимодействия, Кан и Хиллард)*

**yz** – гашение флуктуаций, однородный p-p  
**ac, bd** – распад на две фазы через з/о,  
**cd** – расслаивание, спинопальный распад.



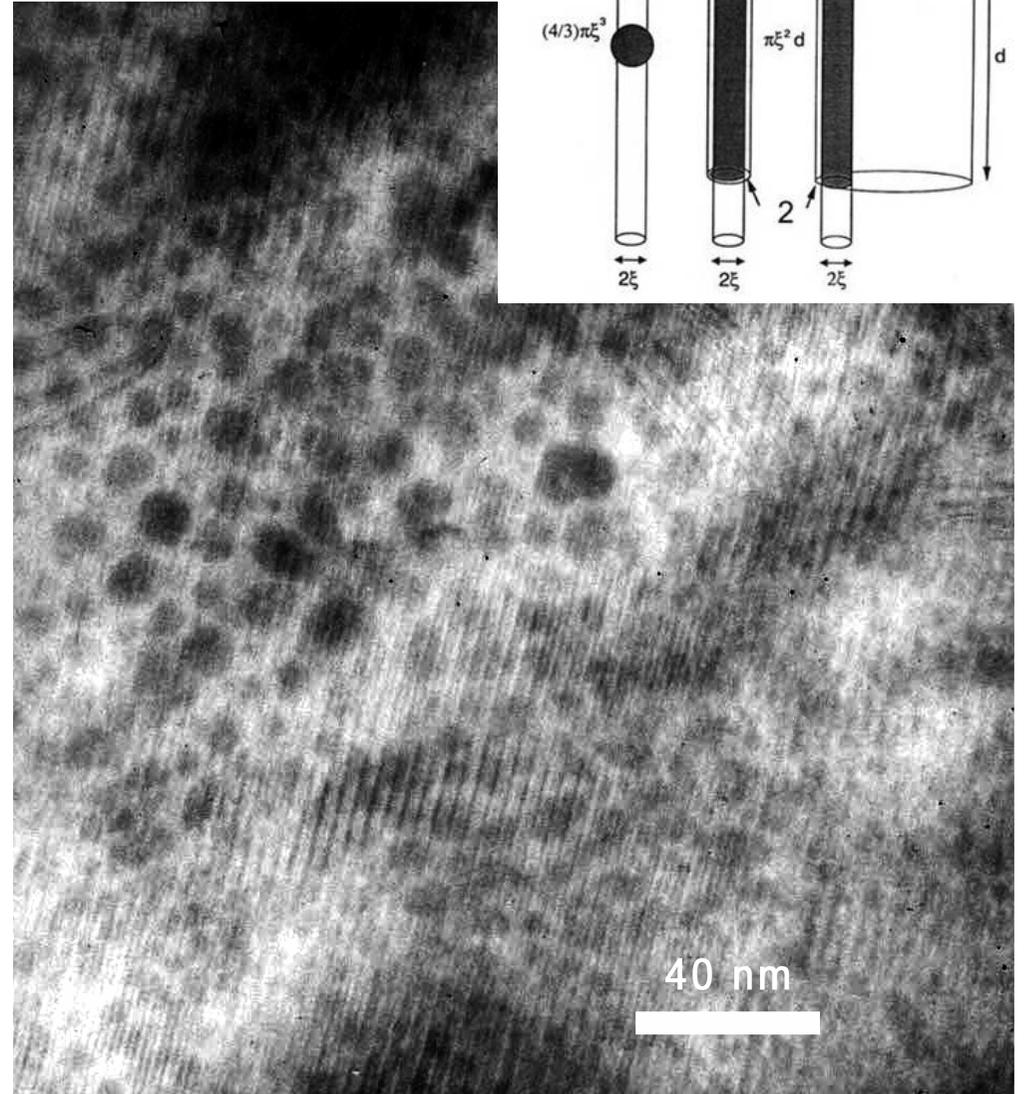
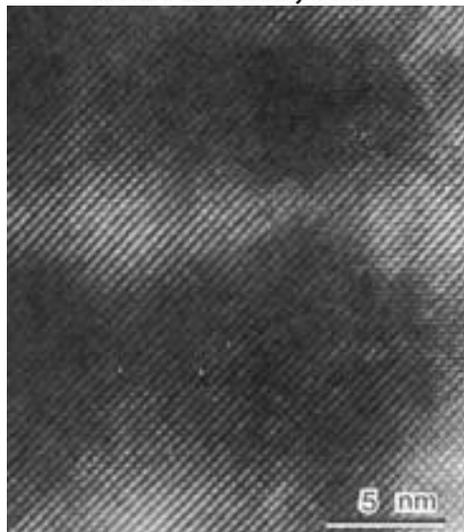
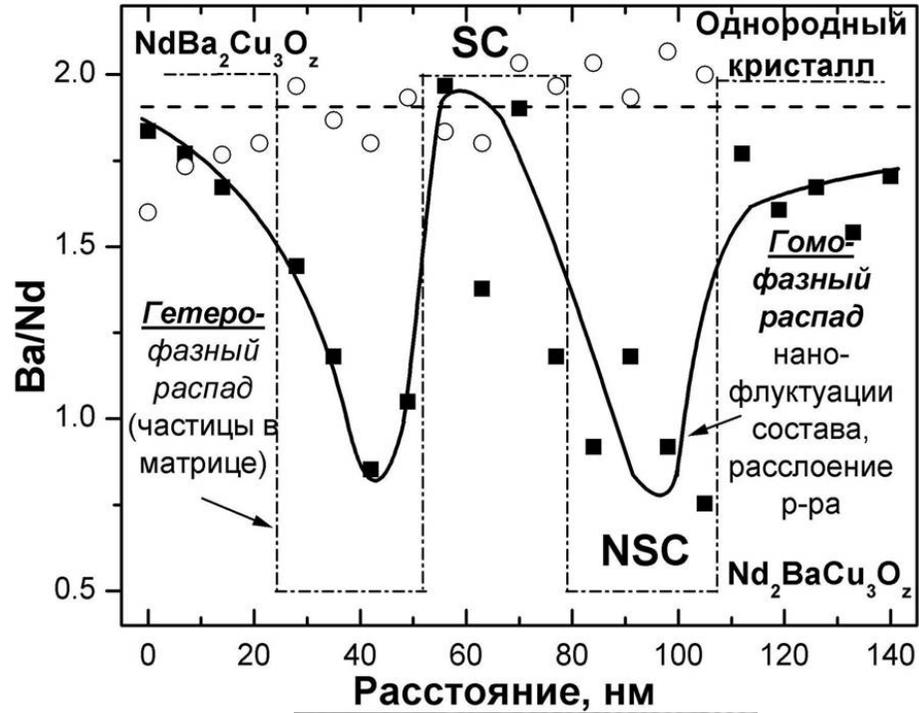
# Зародыши и расслаивание



# Сравнение

Образование и рост зародышей	Спинодальный распад
Состав второй фазы при постоянной температуре не меняется со временем	Состав обеих фаз меняется со временем, пока не будет достигнуто равновесие
Между двумя фазами всегда существуют резкие границы	Границы между двумя фазами сначала размыты, но со временем становятся достаточно резкими
Частицы второй фазы, как правило, разных размеров	Вторая фаза характеризуется регулярным распределением частиц по размеру, которые определенным способом расположены в образце
Частицы второй фазы, как правило, представляют собой сферические капли, не связанные друг с другом	Вторая фаза, как правило, представляет собой соединенные друг с другом несферические области

# Пиннинг



# Структура полимеров

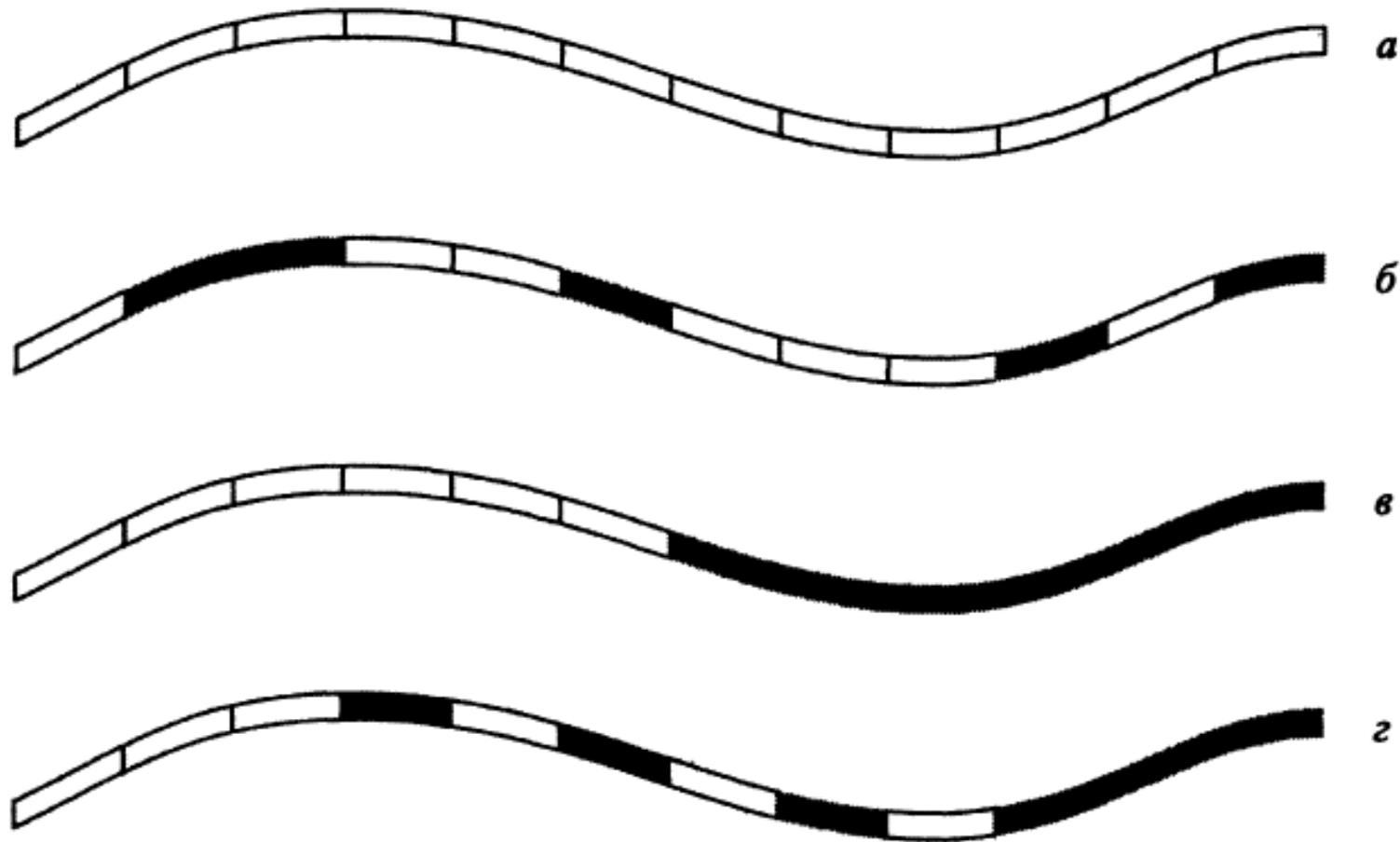
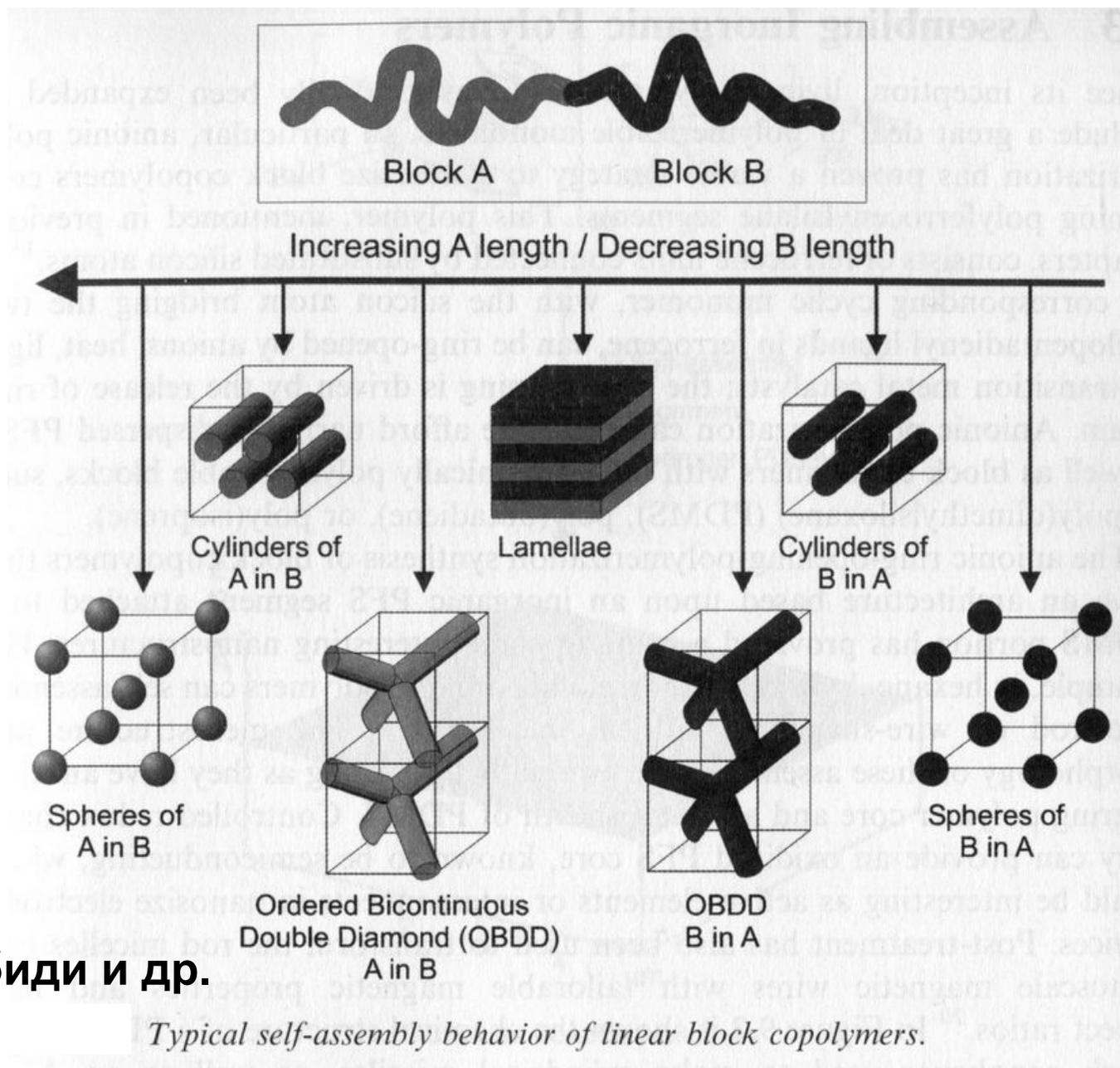


Рис. 6.2. Полимеры различной структуры: *a* — гомополимер, *б* — статистический сополимер, *в* — диблок-сополимер, *г* — градиентный сополимер

Н.Г.Рамбиди и др.

# Полимеры и структуры



Н.Г.Рамбиди и др.

# Основные методы «мокрой и мягкой» химии:

- соосаждение
- золь-гель метод
- пиролиз аэрозолей
- сольвотермальная обработка
- криохимическая технология

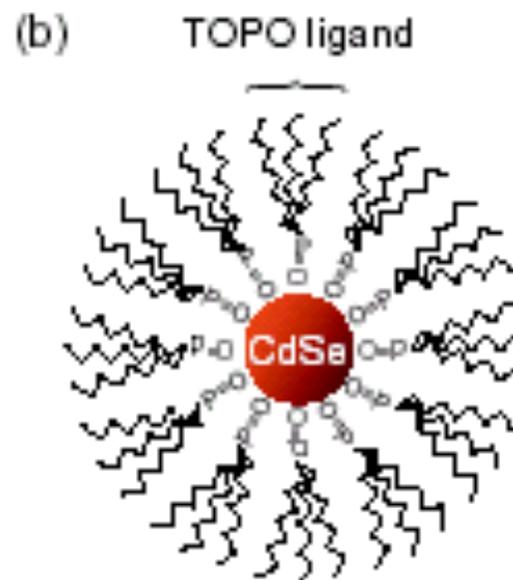
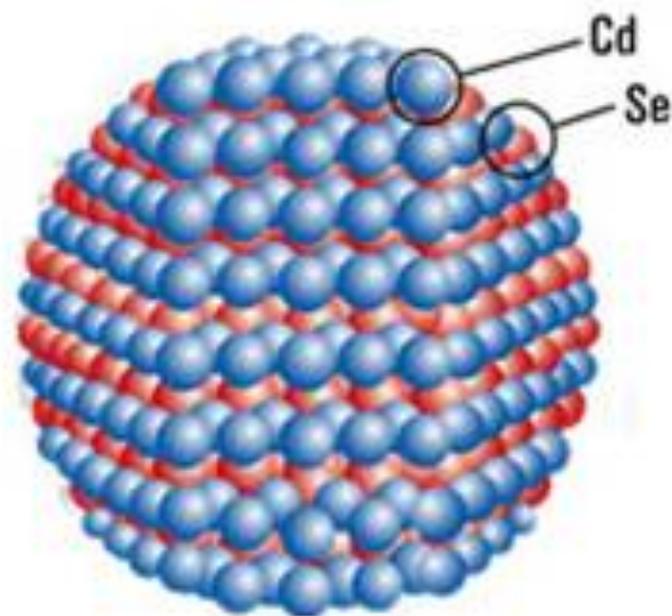
## **СООСАЖДЕНИЕ –**

**выпадение труднорастворимых осадков,  
химическое взаимодействие в растворах,  
комплексование, высаливание....**

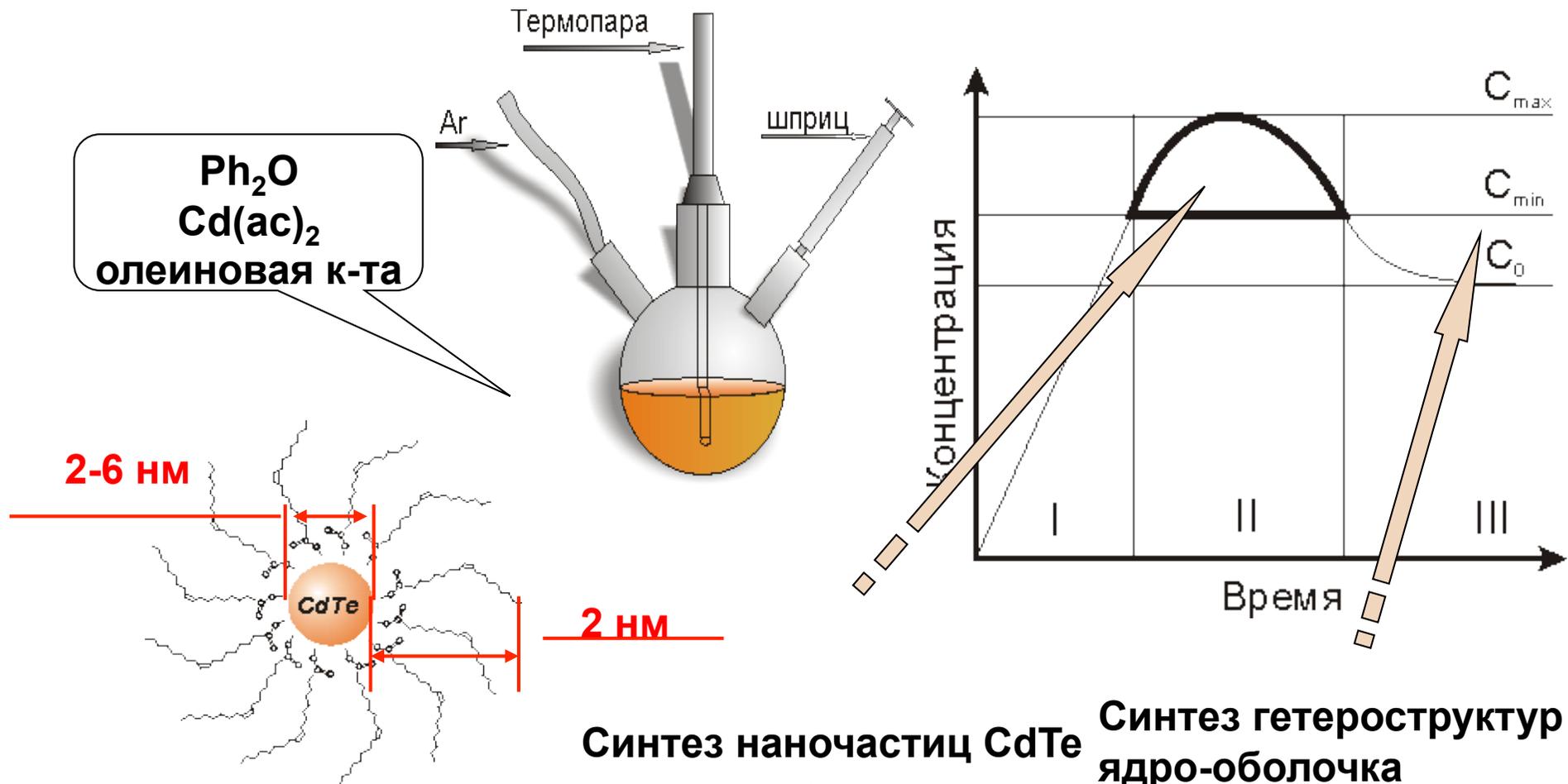
# Коллоидные квантовые точки

- Наночастицы полупроводника, покрытые стабилизатором
- **Требования к наночастицам**
  - узкое распределение по размерам
  - отсутствие агломерации
  - пассивирование оборванных связей на поверхности
- **Требования к стабилизатору**
  - объемный “хвост”
  - прочная связь с поверхностью
  - сродство к растворителю

**«Зародыш» - баланс изменения «объемной» и «поверхностной» свободной энергии...**



# Химический синтез квантовых точек



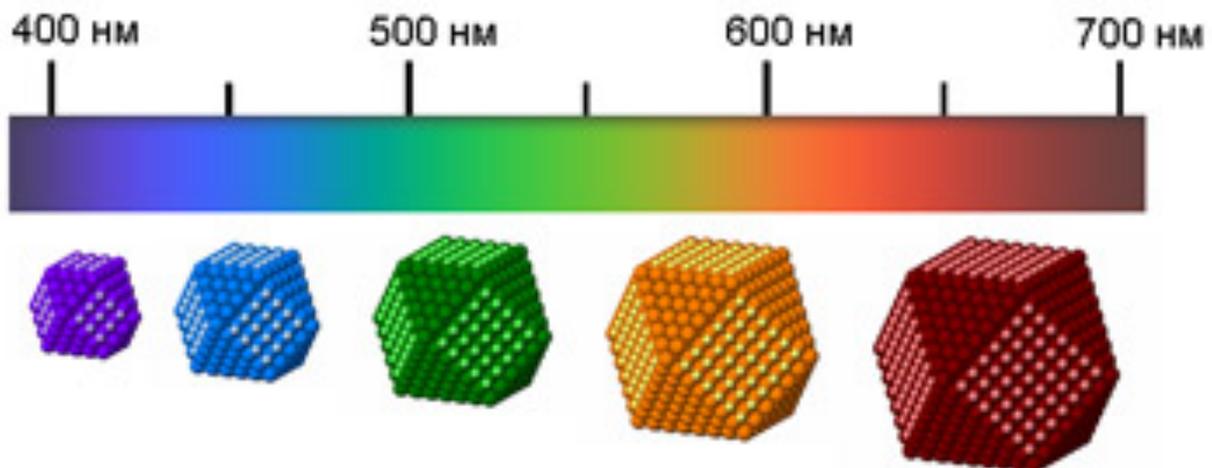
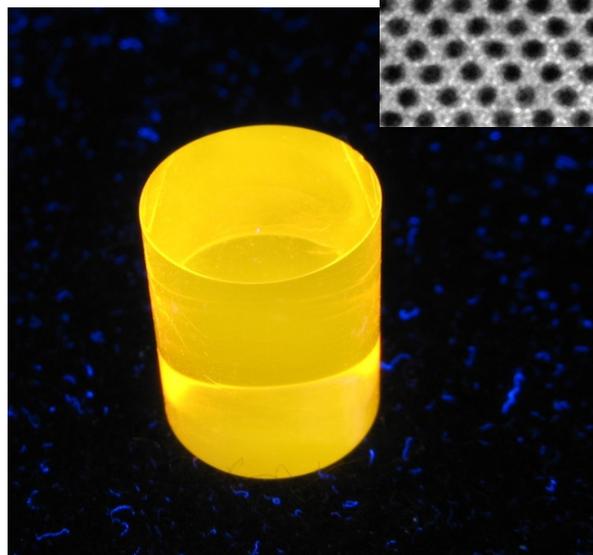
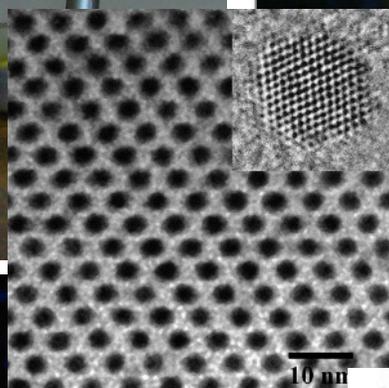
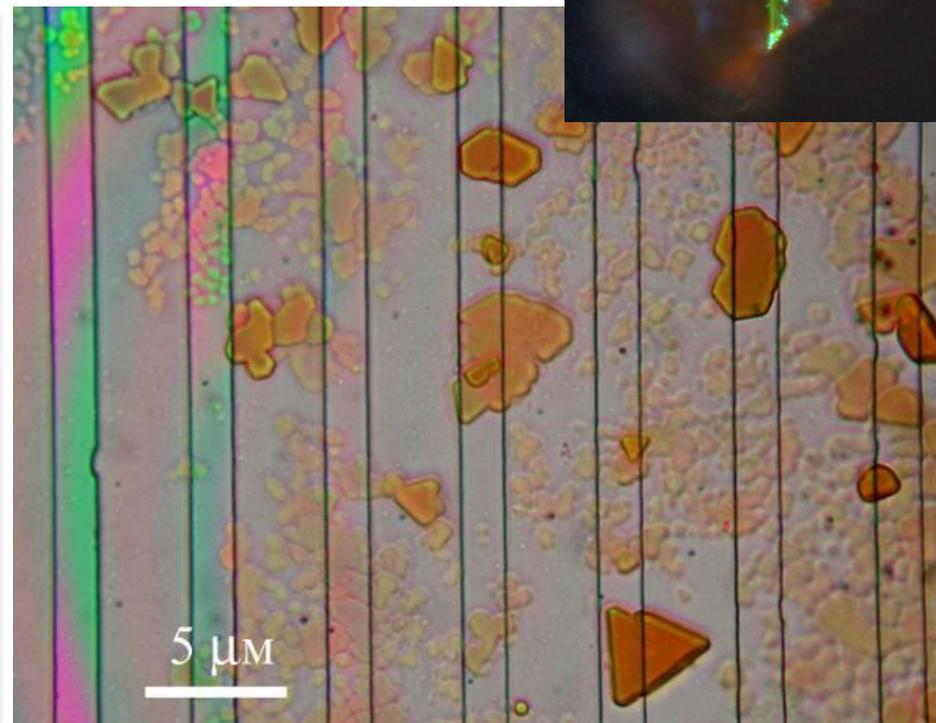
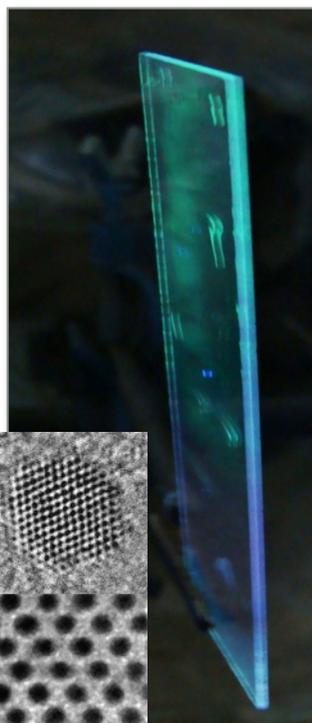
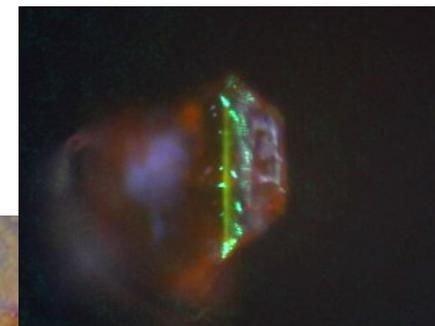
Синтез наночастиц CdTe проводился в режиме пересыщения (II)

Синтез гетероструктур ядро-оболочка проводился в режиме III методом наращивания на ядре CdTe слоя CdSe.

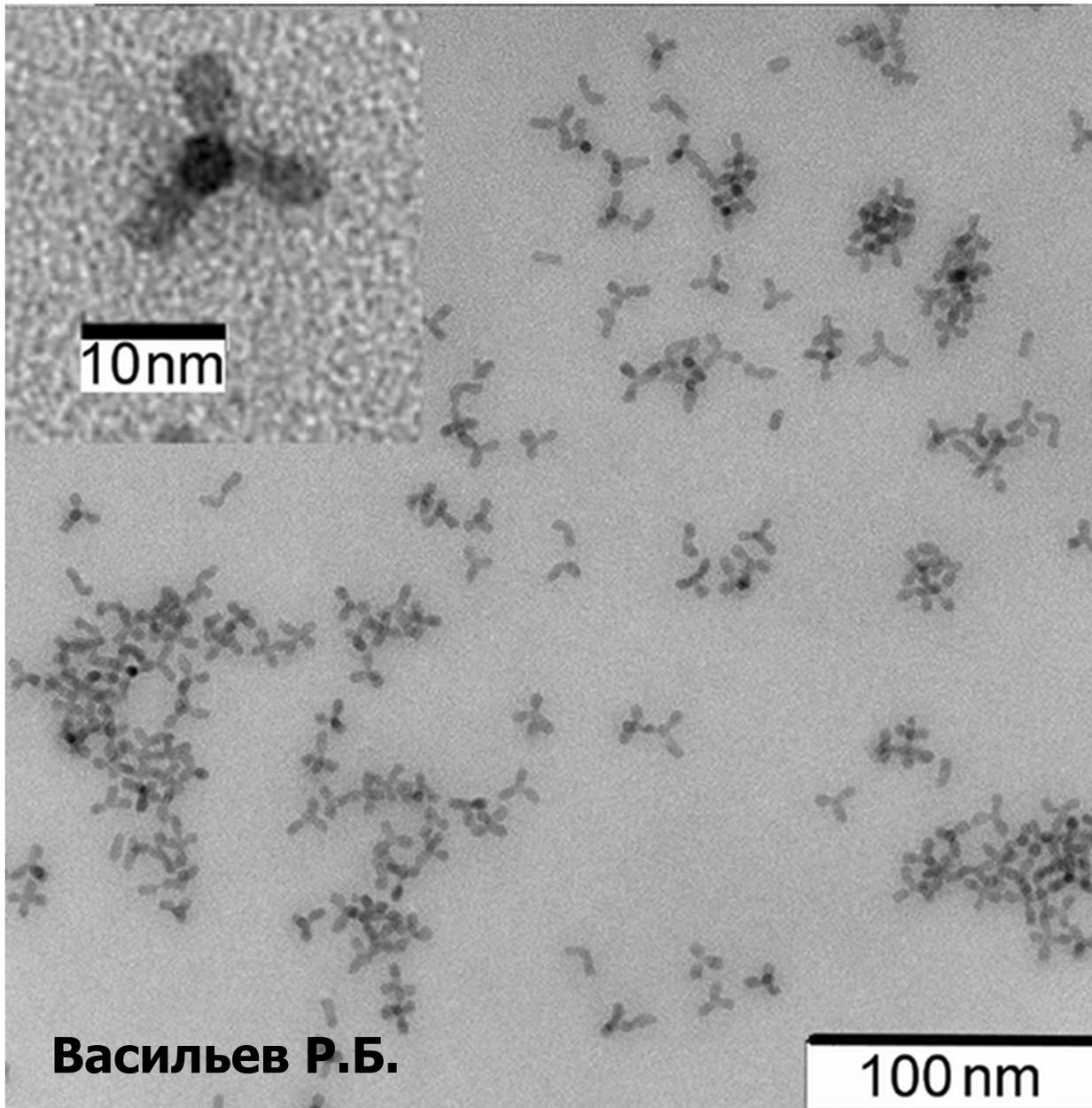
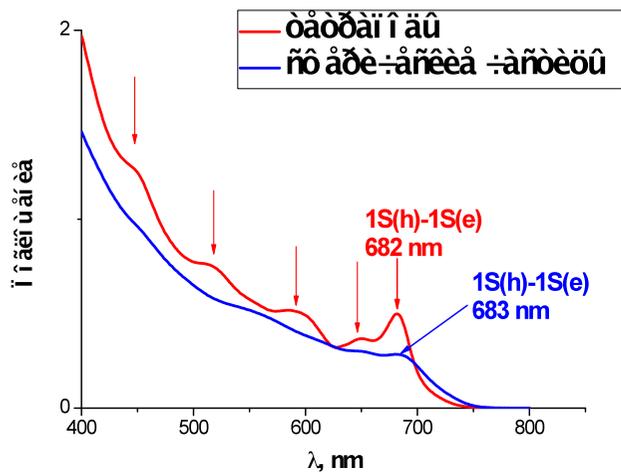
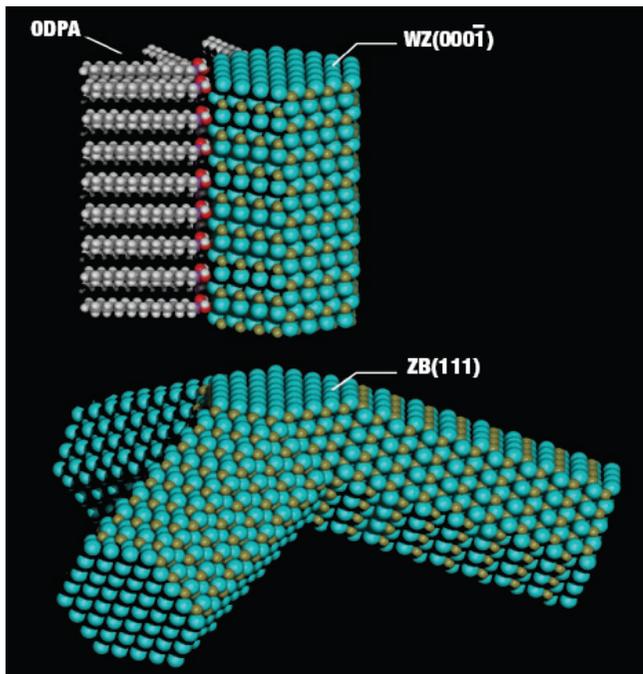
- мин. время
- макс. пересыщение
- > монодисперсная система

Р.Б.Васильев и др.

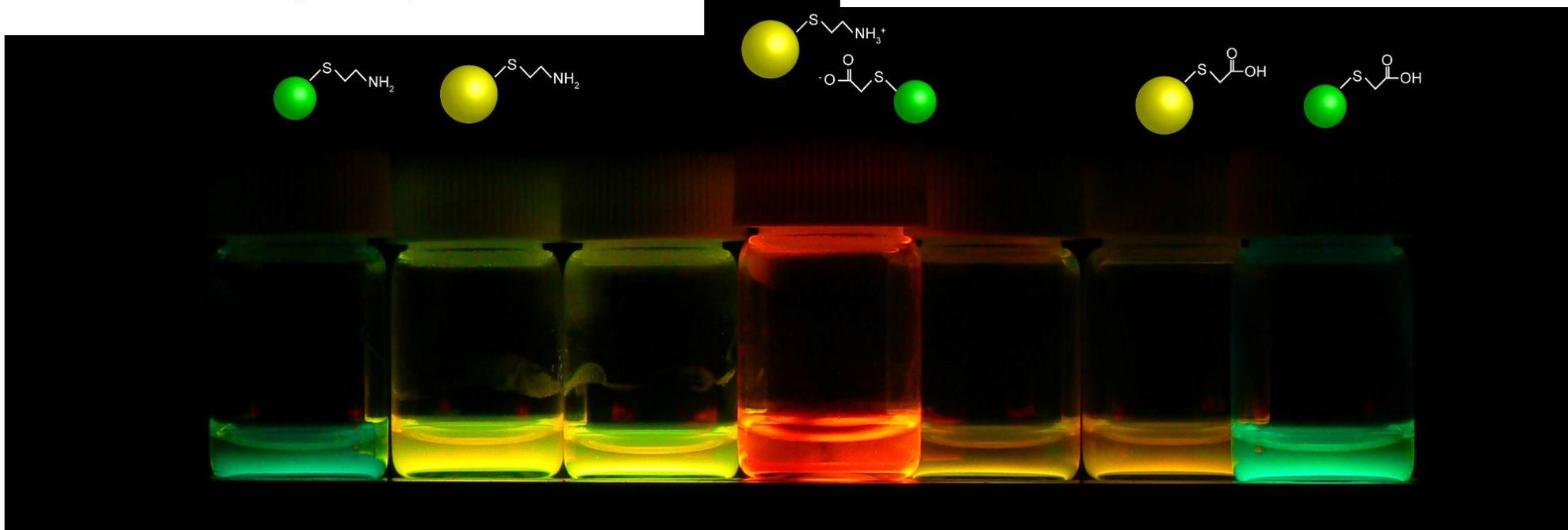
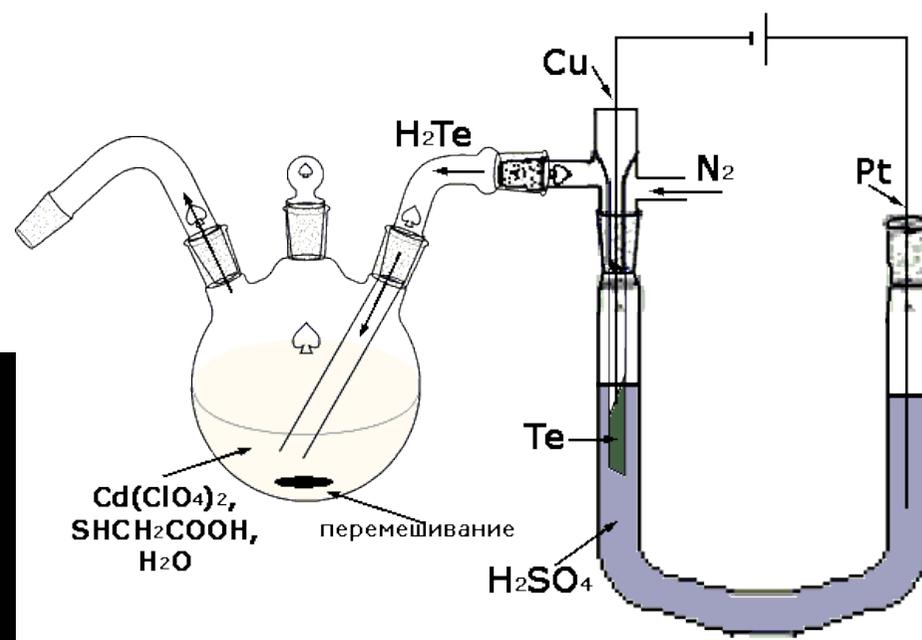
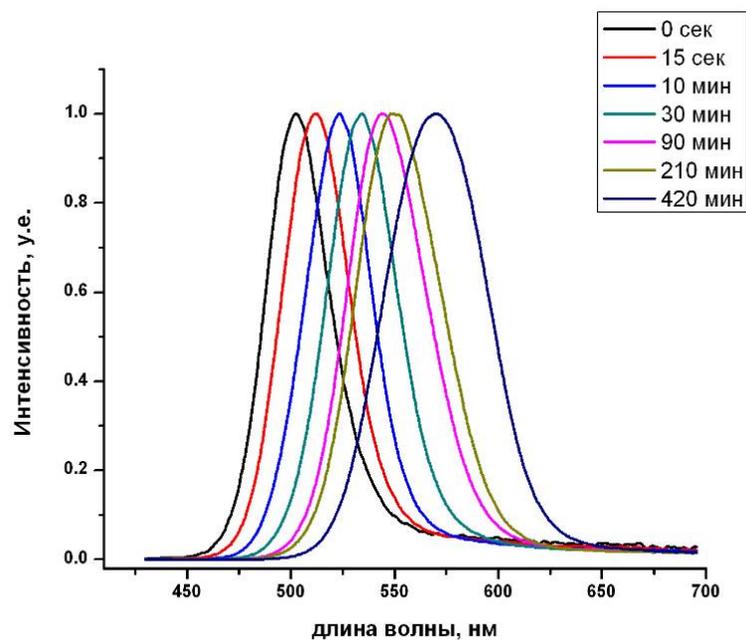
# Квантовые точки



# Тетраподы



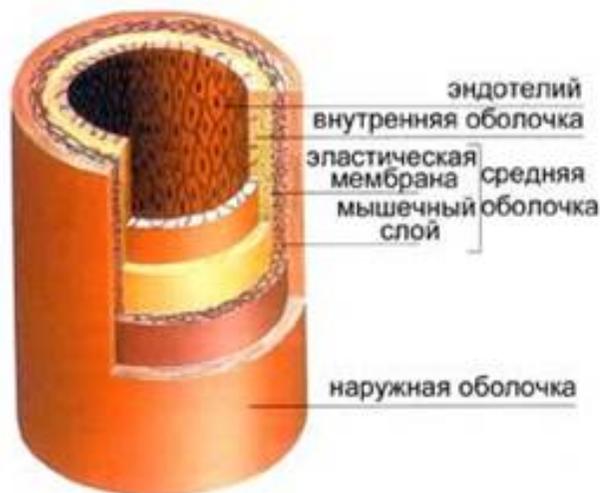
# Водорастворимые КТ



# «Нанобио»

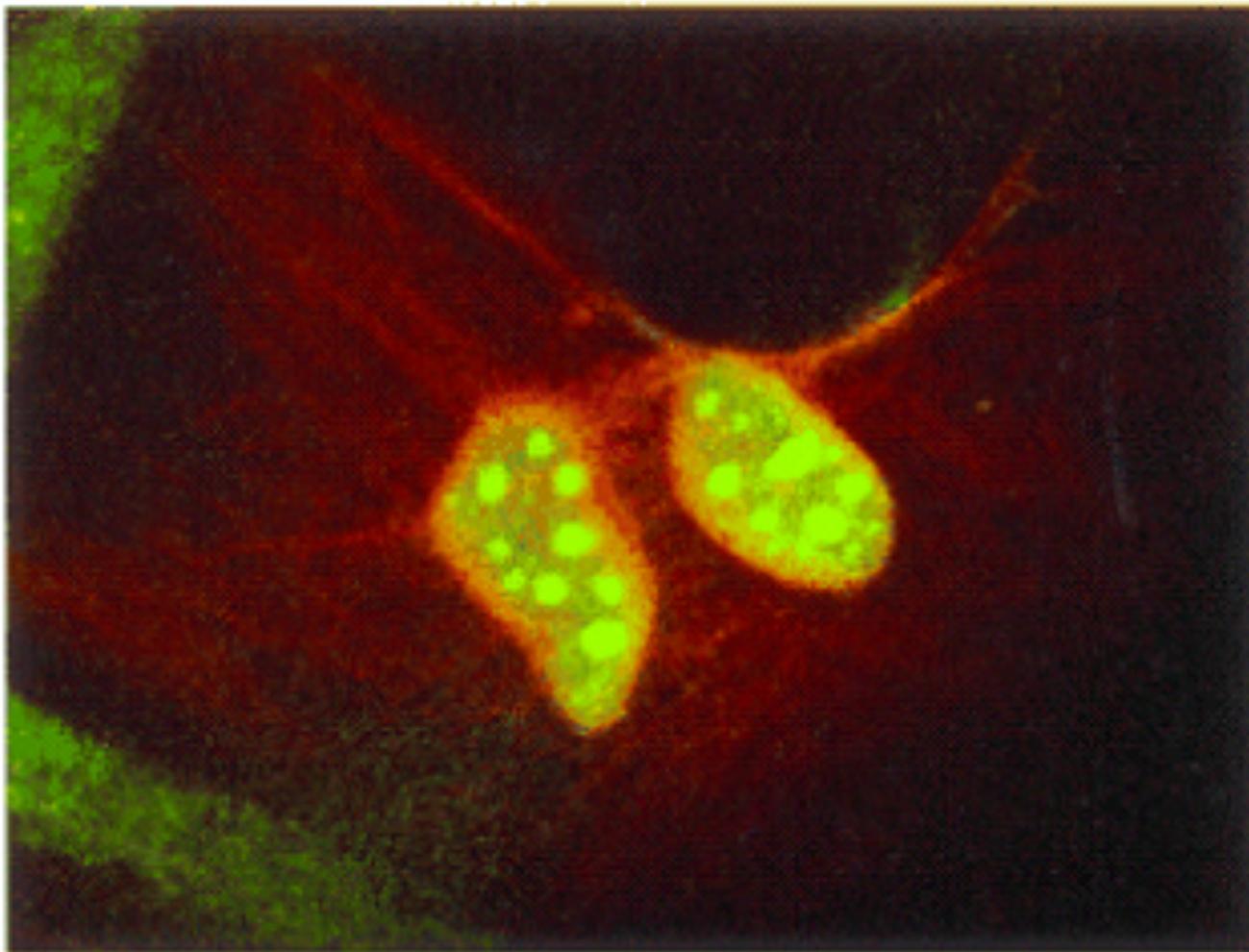


- Малый размер
  - ⇒ могут проникать в капилляры, ткани и клетки
- Развитая поверхность
  - ⇒ «контейнеры» для биологически активных в-в
  - ⇒ частицы неорганических материалов можно сделать нетоксичными
  - ⇒ свойства частиц зависят от состояния поверхности
- Необычные для свойства – магнитные и оптические



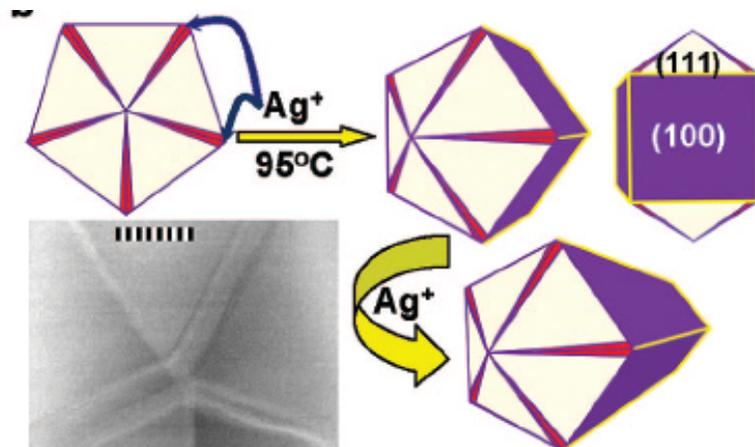
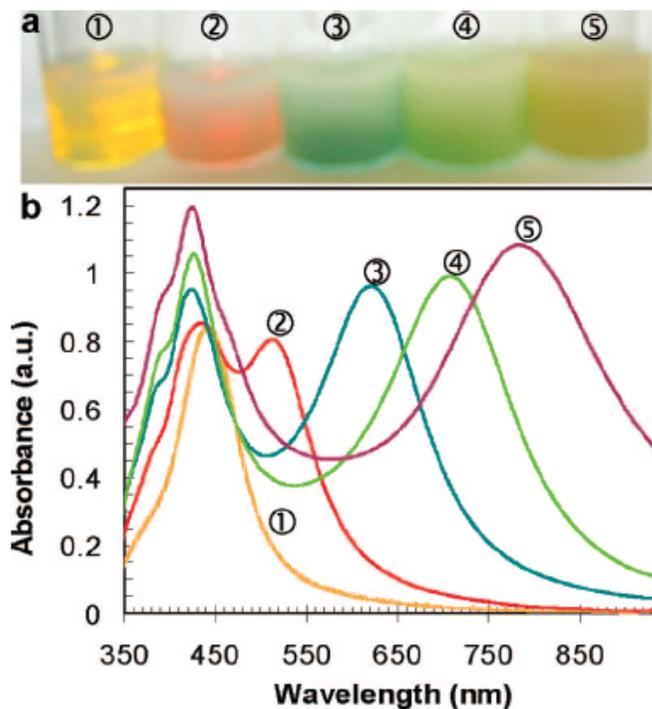
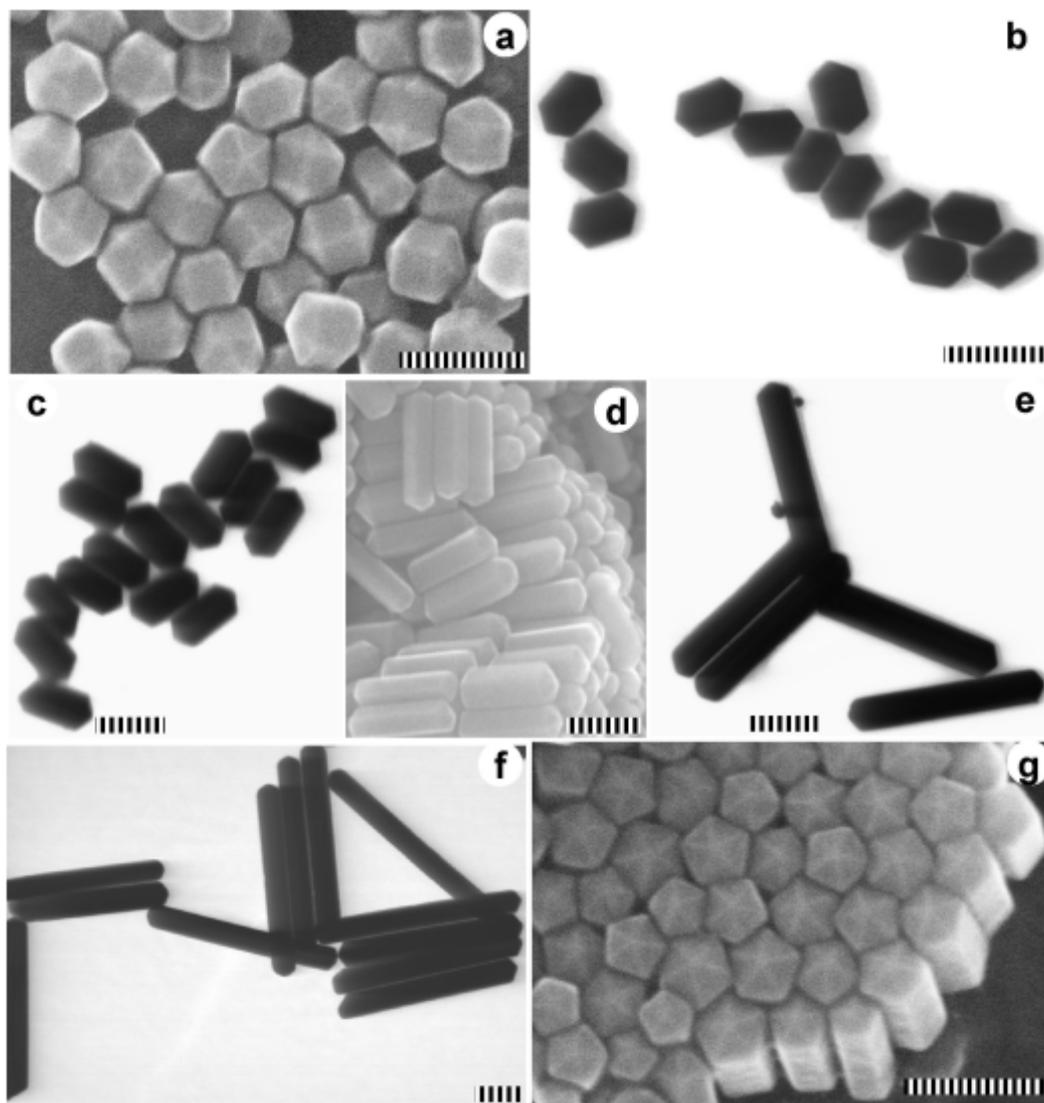
**Создание новых биосовместимых наноматериалов с нетоксичной защитной оболочкой для медицинской диагностики, программируемой доставки лекарств и лечения онкологических заболеваний.**

# Маркеры



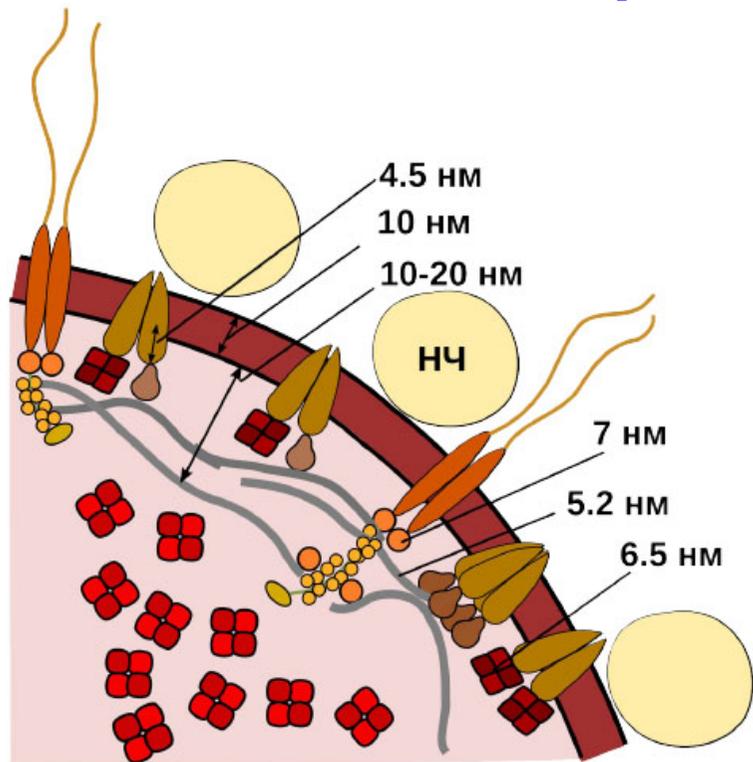
**Флуоресцирующие метки из наночастиц CdSe в больных клетках.**

# Пентагональные наностержни Ag

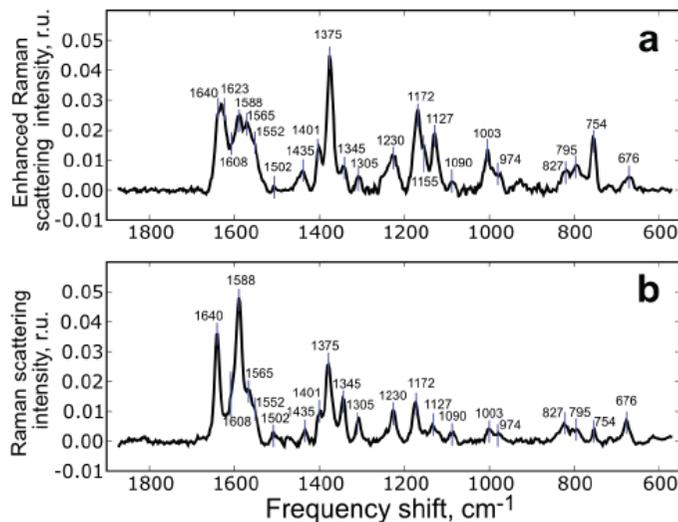
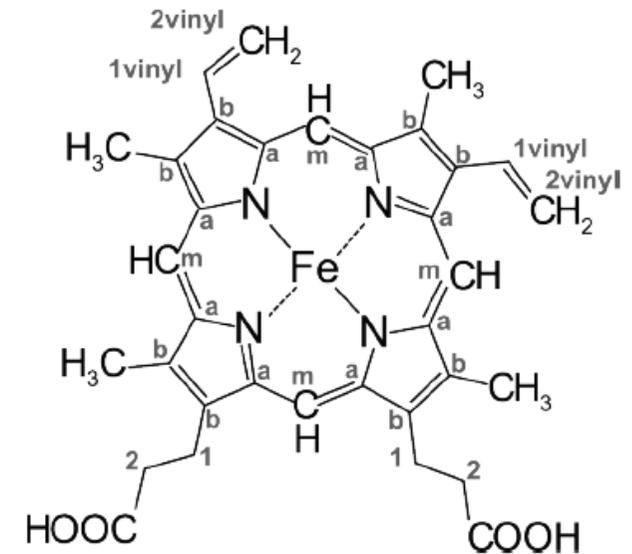


V.V.Kitaev et al.

# SERS (ГКР) на биообъектах

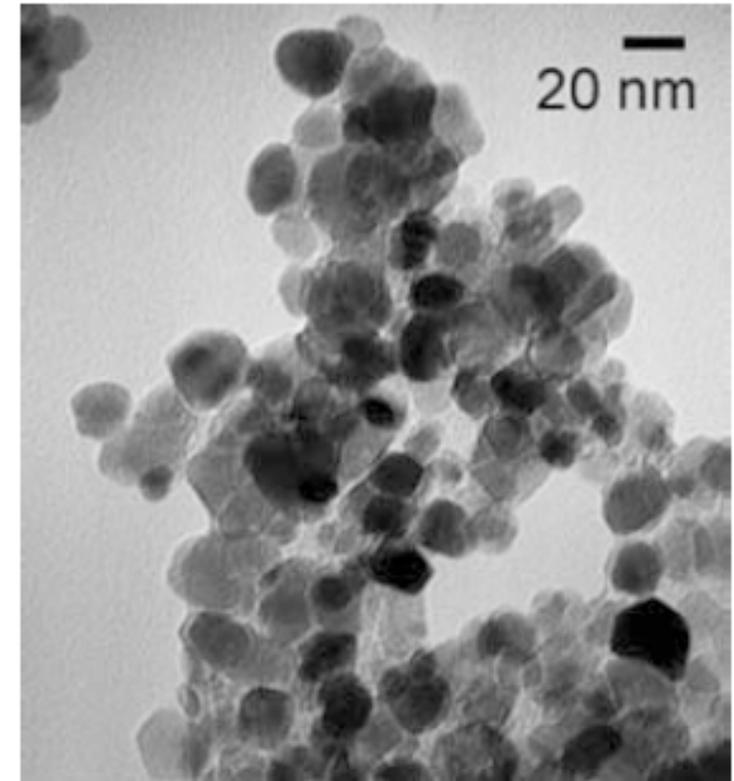
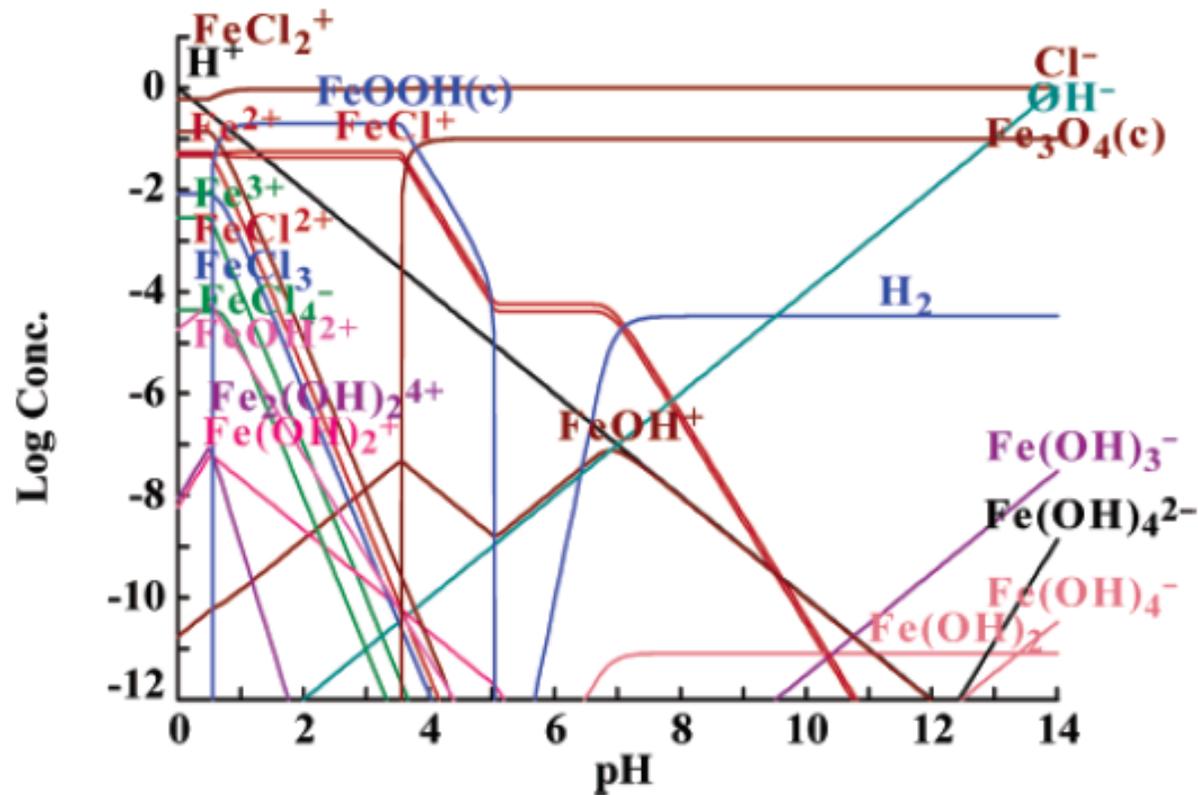


-  НЧ Наночастица
-  Гб<sub>МС</sub>
-  Нв<sub>Ц</sub>
-  АЕ1 обменик (белок полосы 3)
-  Анкирин
-  Гликофорин с филоментами олигосахаридов
-  Белок полосы 4.1
-  Актин, тропомиозин и тропомодулин
-  Спектрин

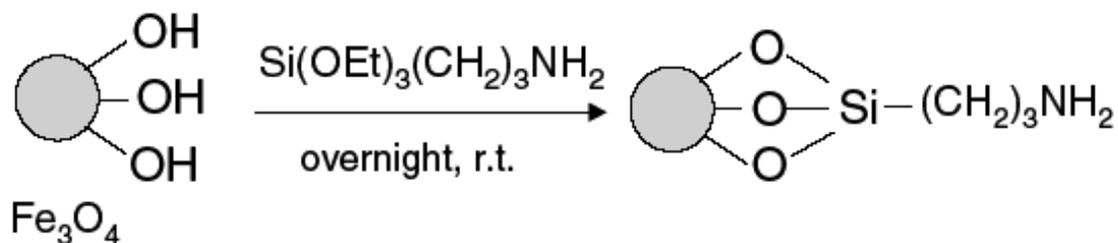


*Brazhe N.A., Abdali S., Brazhe A.R., Luneva O.G., Bryzgalova N.Y., Parshina E.Y., Sosnovtseva O.V., Maksimov G.V. New Insight into Erythrocyte through In Vivo Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. Biophysical Journal. 2009. 97 (12). P.3206–3214.*

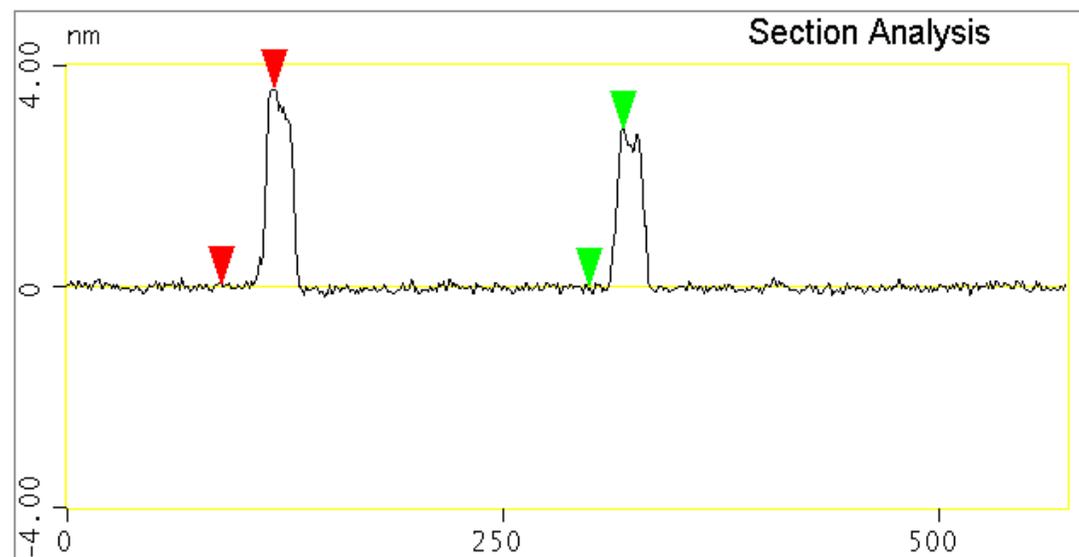
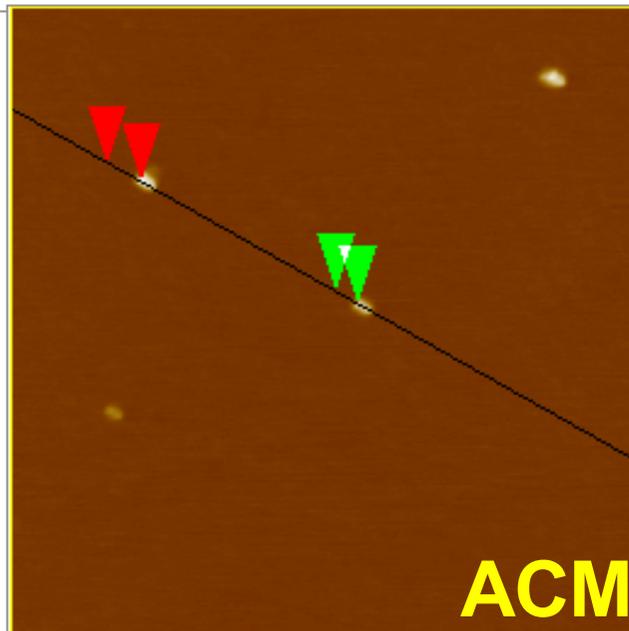
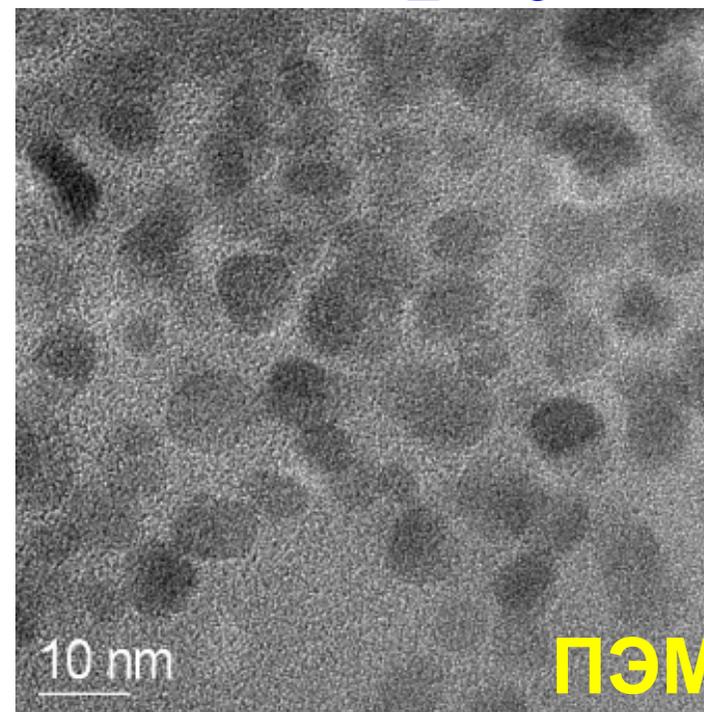
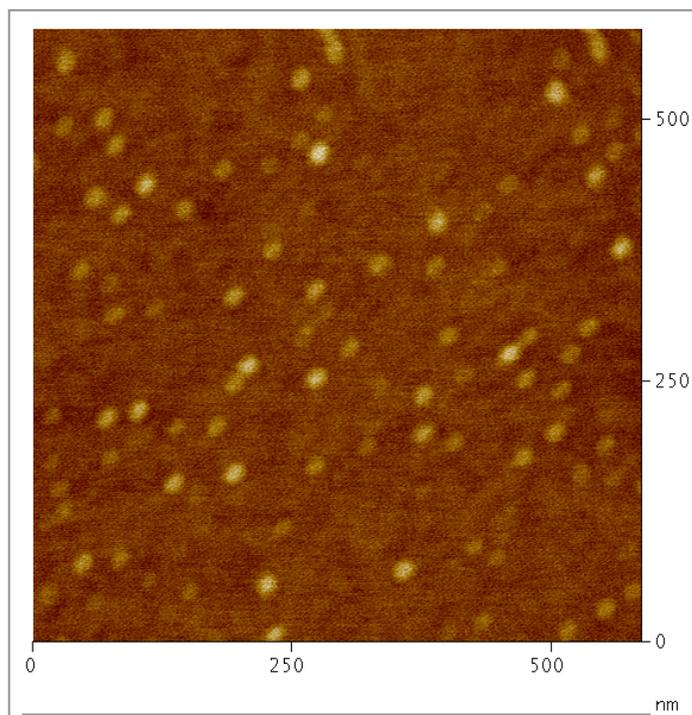
# Магнитные наночастицы $\text{Fe}_3\text{O}_4$



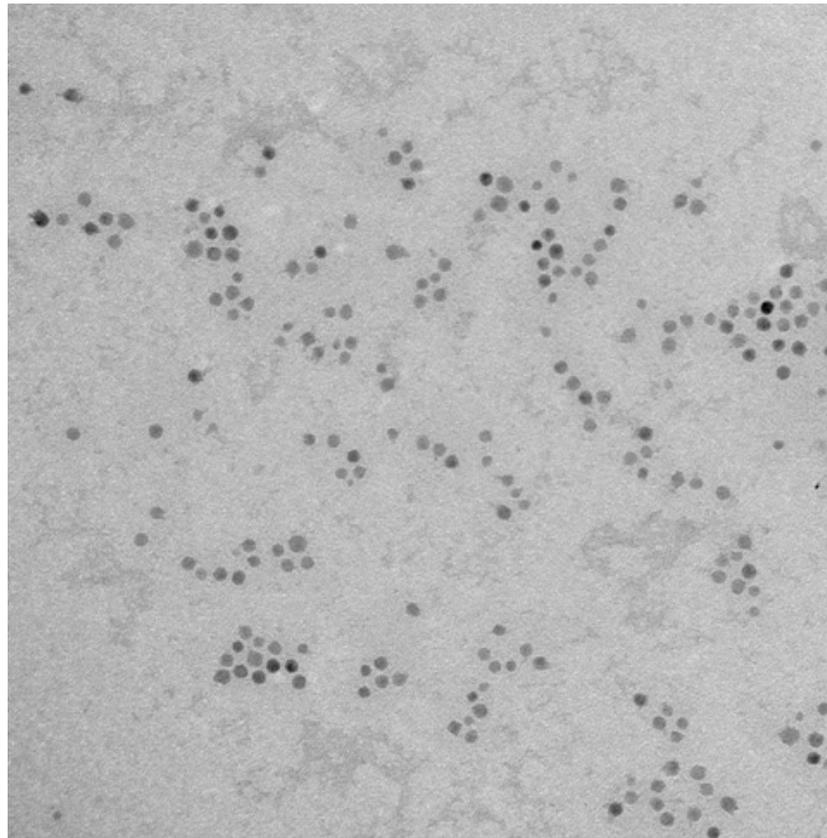
**Figure 2.** Thermodynamic calculations of the concentrations of all  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  species formed at different solution pHs. Initial conditions are  $[\text{Fe}^{2+}] = 0.1 \text{ M}$ ,  $[\text{Fe}^{3+}] = 0.2 \text{ M}$ , and  $[\text{Cl}^-] = 1.0 \text{ M}$ .



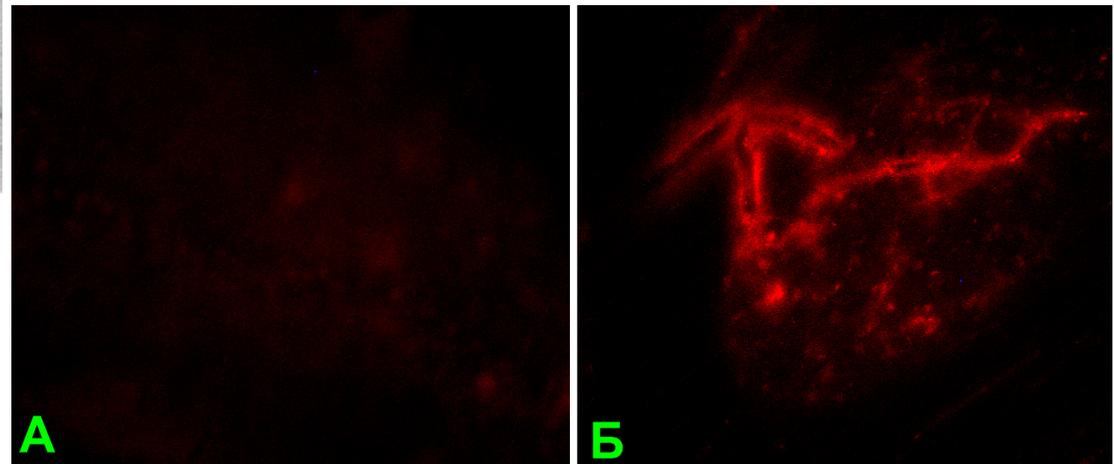
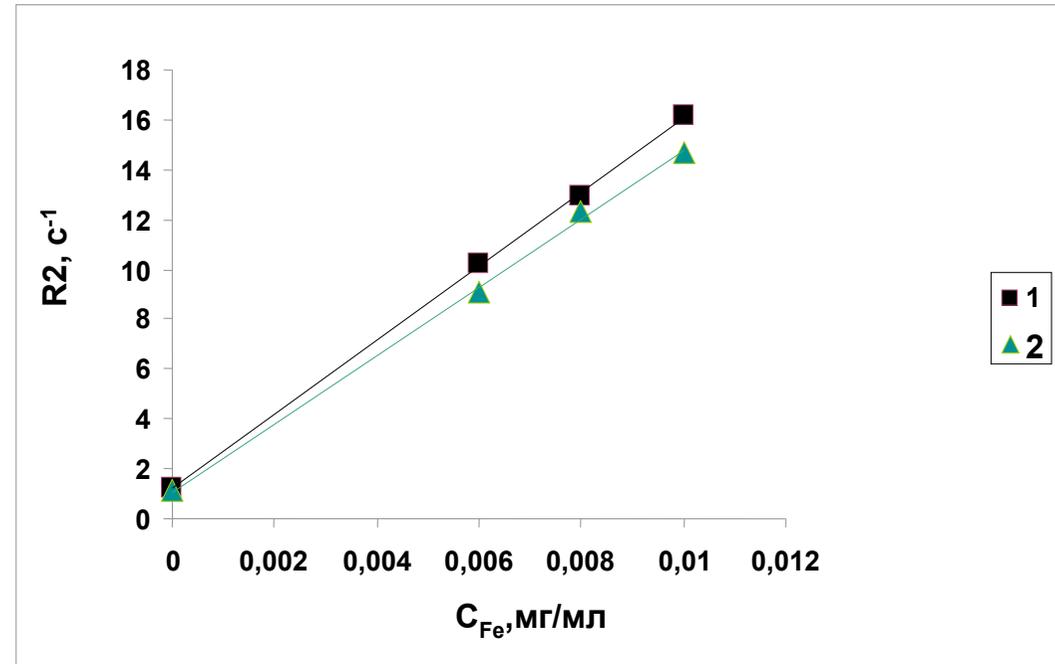
# Магнитные наночастицы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



# Контрастирующие агенты

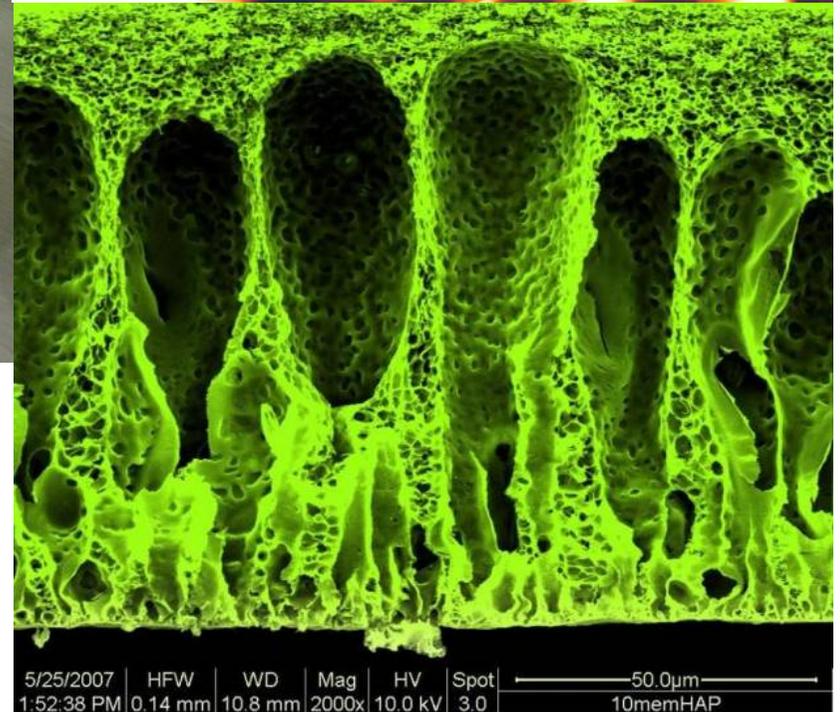
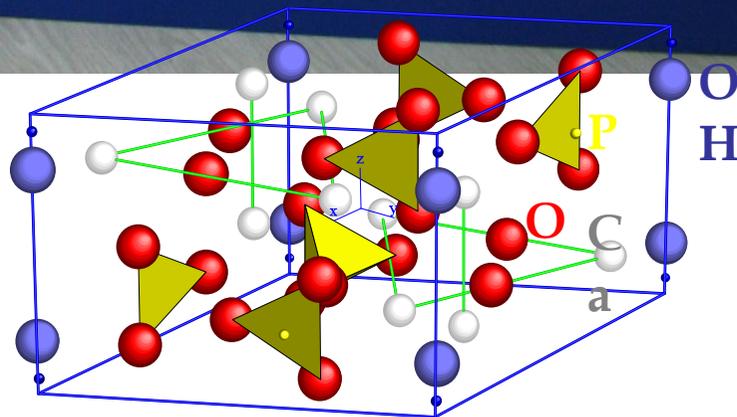


100 nm



- Векторные нанокapsулы для визуализации сосудов методом МРТ, А.Е.ГОЛЬДТ, М. А. АБАКУМОВ, В. П. БАКЛАУШЕВ, Е. А. ГУДИЛИН

# Наномедицина

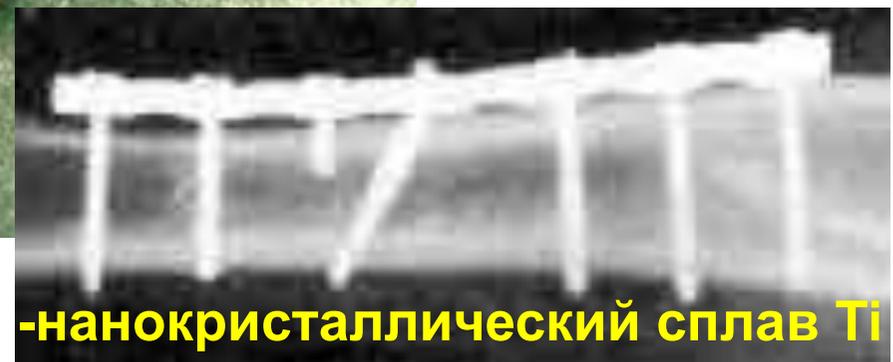


# Керамика с микровключениями и сплавы с наноразмерными зёрнами

-нанокристаллическая керамика  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 4.1\text{YSZ}$



- дисперсионное упрочнение
- трансформационной упрочнение
- термомеханическая обработка



-нанокристаллический сплав Ti

## **ЗОЛЬ - ГЕЛЬ –**

**ЭВОЛЮЦИЯ КОЛЛОИДНОЙ СИСТЕМЫ МЕЖДУ  
СОСТОЯНИЯМИ ЗОЛЬ (НАНОЧАСТИЦЫ В  
РАСТВОРИТЕЛЕ) – ГЕЛЬ («ТРЕХМЕРНЫЙ  
ПОЛИМЕРНЫЙ КАРКАС» В РАСТВОРИТЕЛЕ)**

# Золь-гель метод

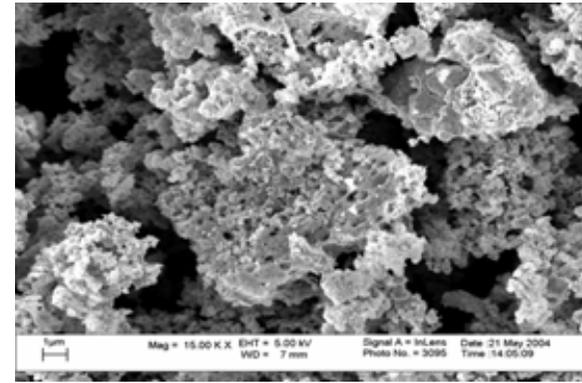
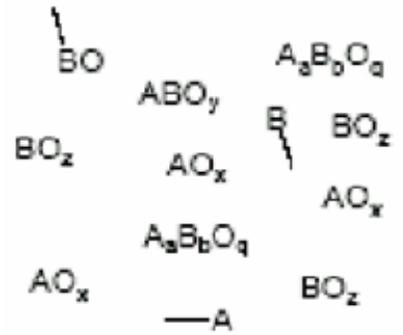
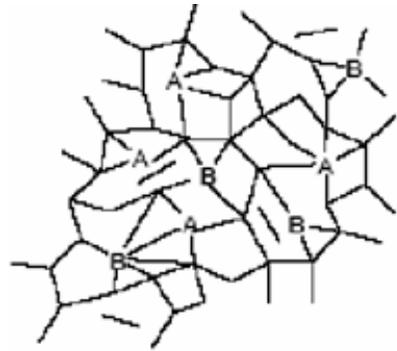
Раствор солей металлов

Образование хелатных комплексов металлов с многофункциональными органическими кислотами

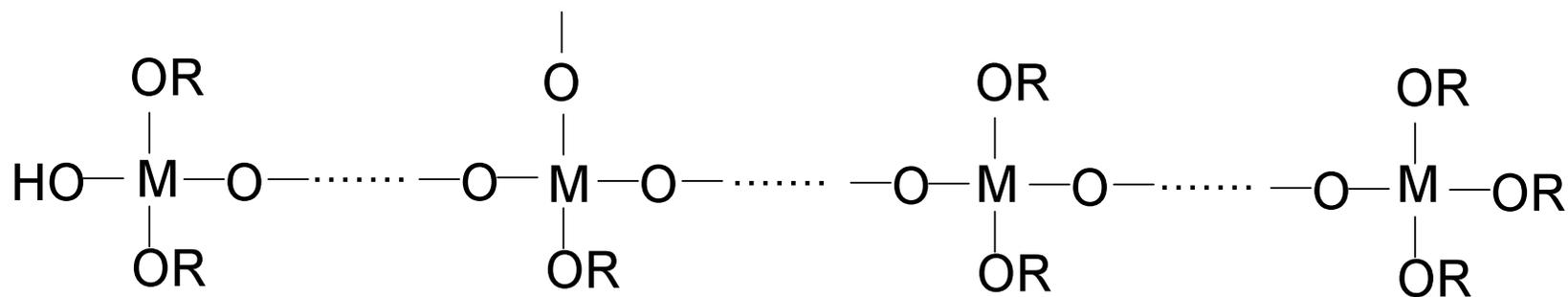
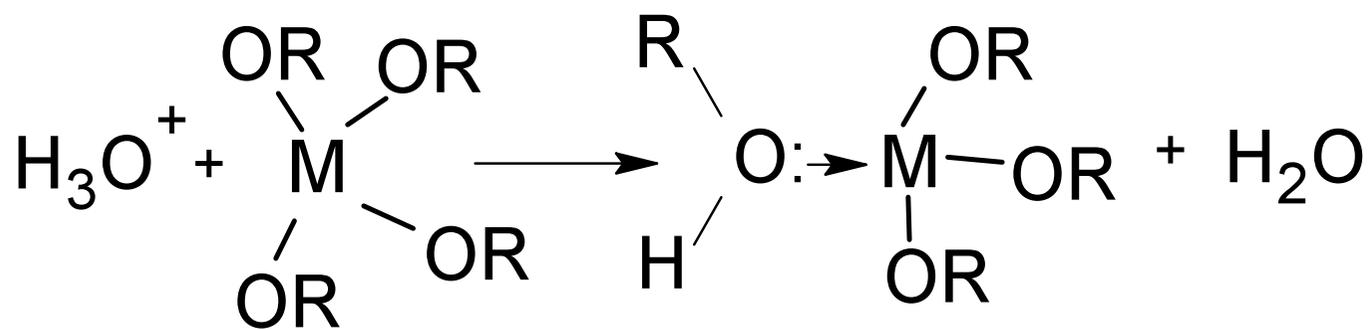
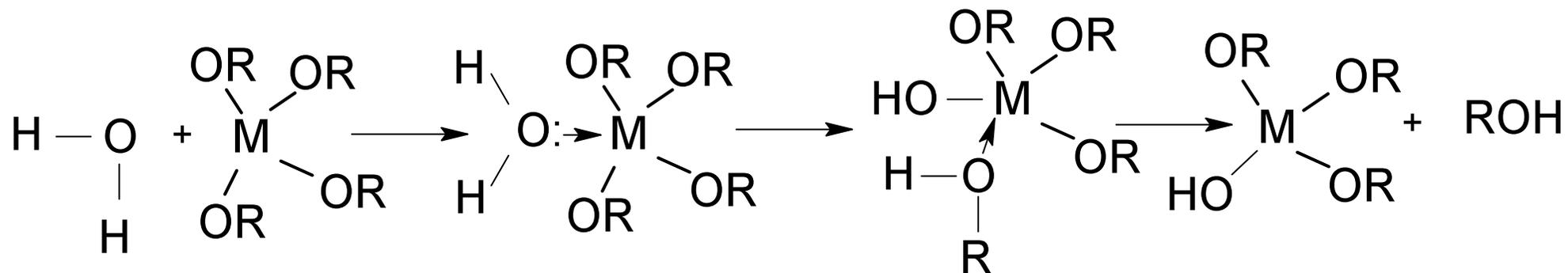
Реакция полимеризации с многоатомными спиртами

Термическое разложение

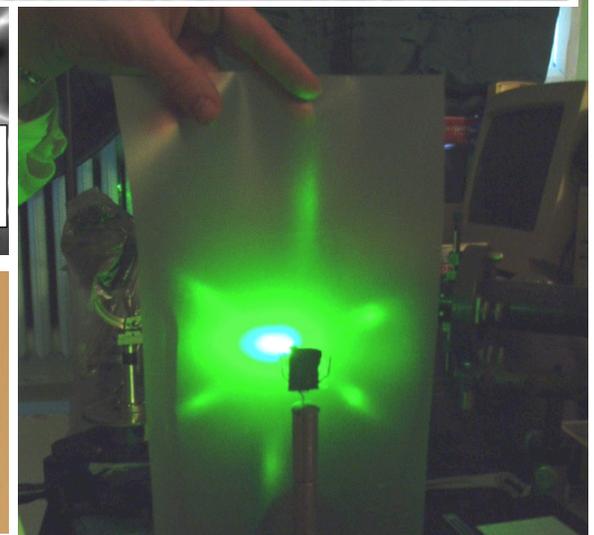
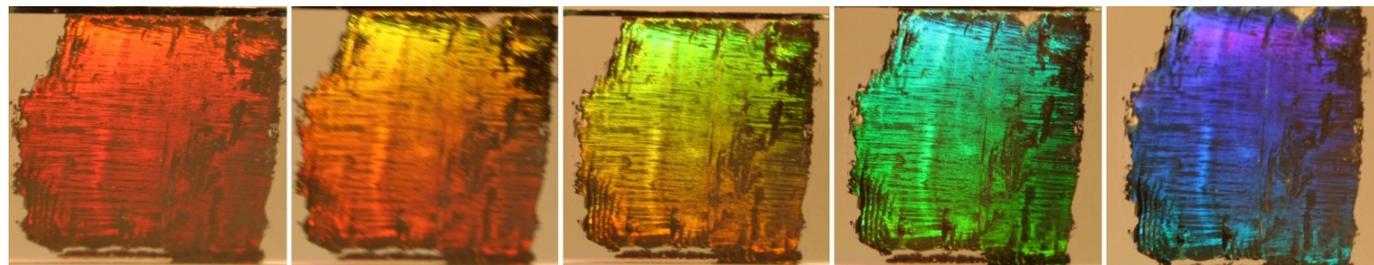
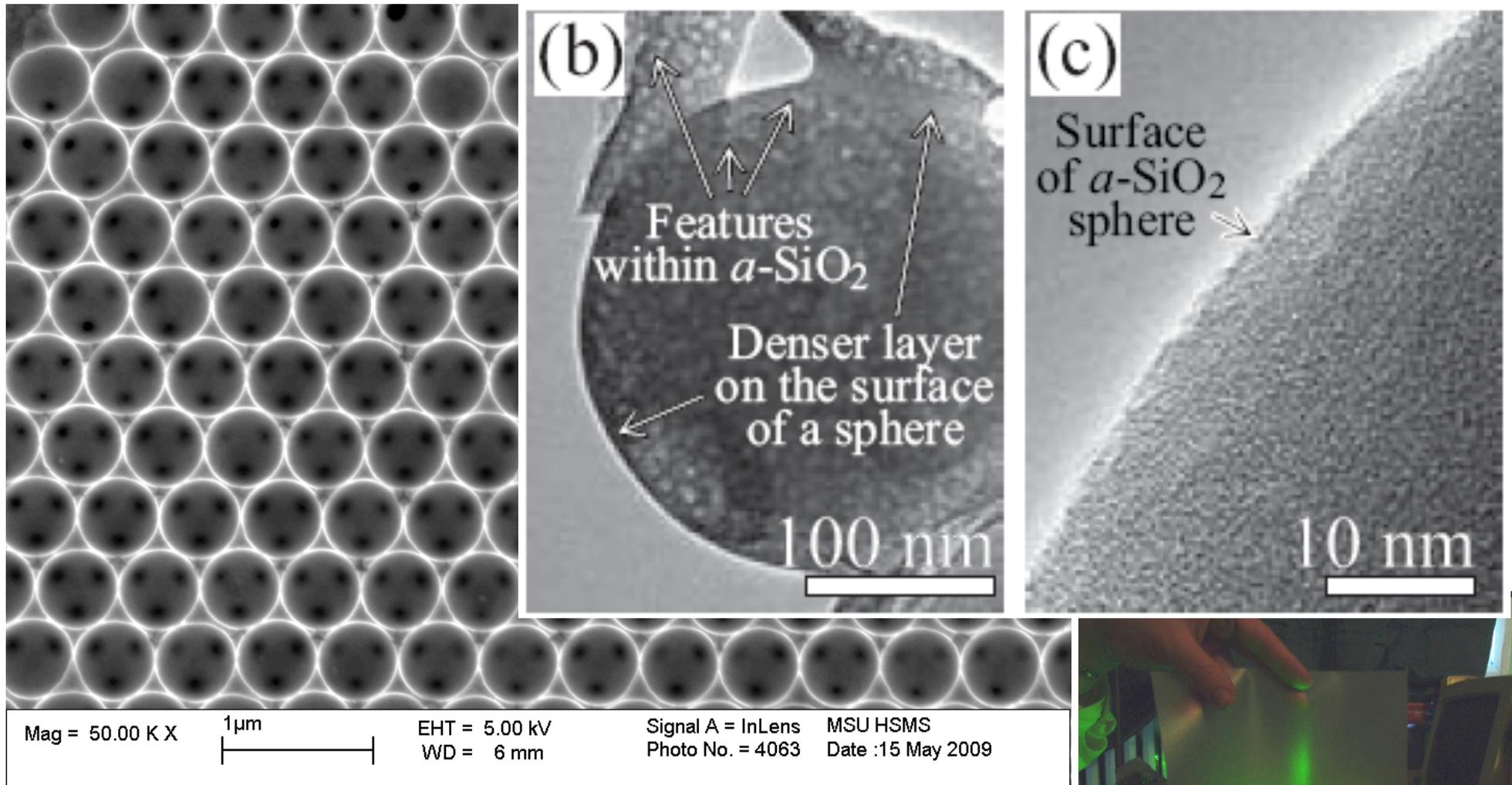
Получение материалов



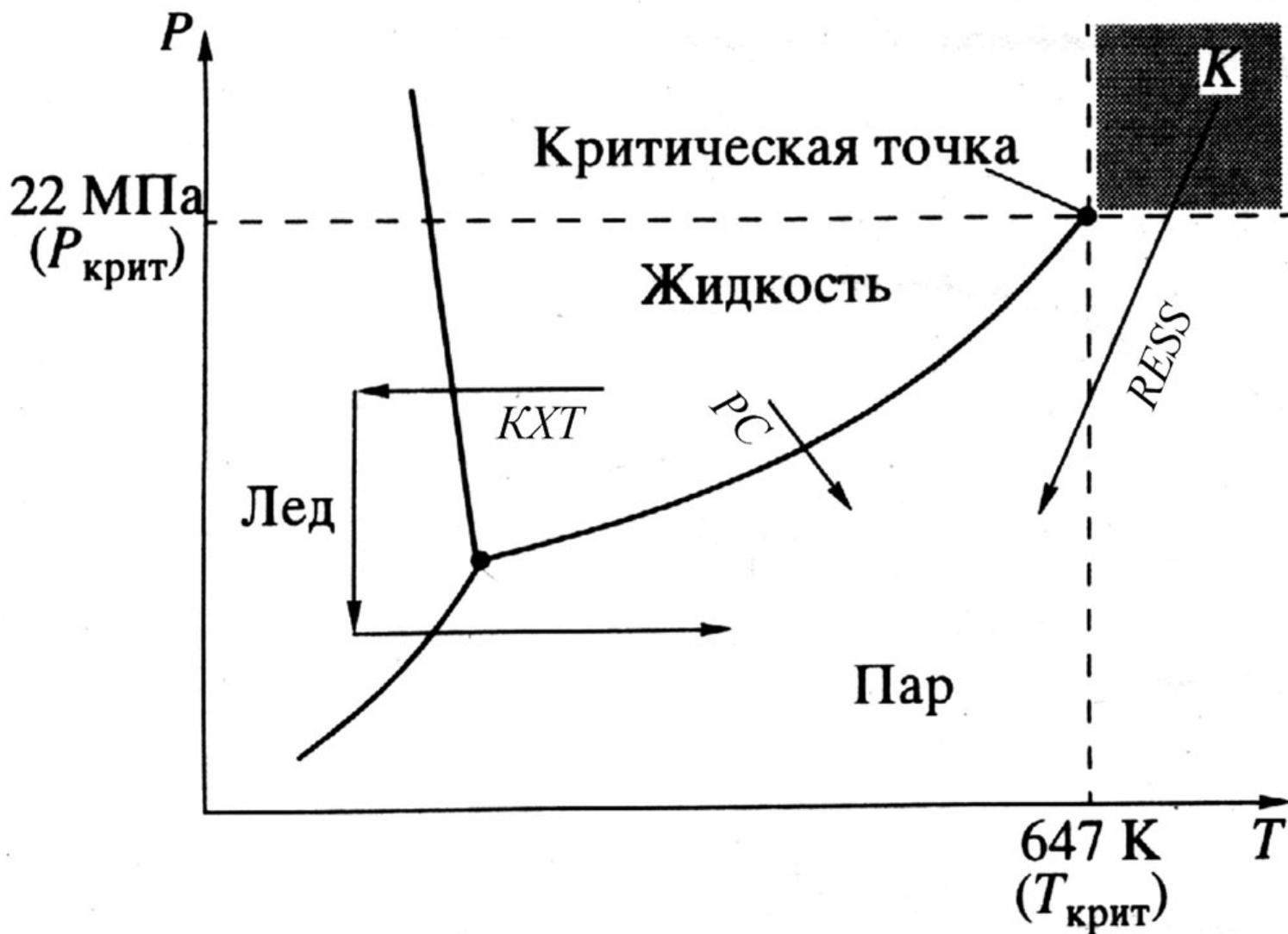
# Гидролиз



# «Инвертированный» опал



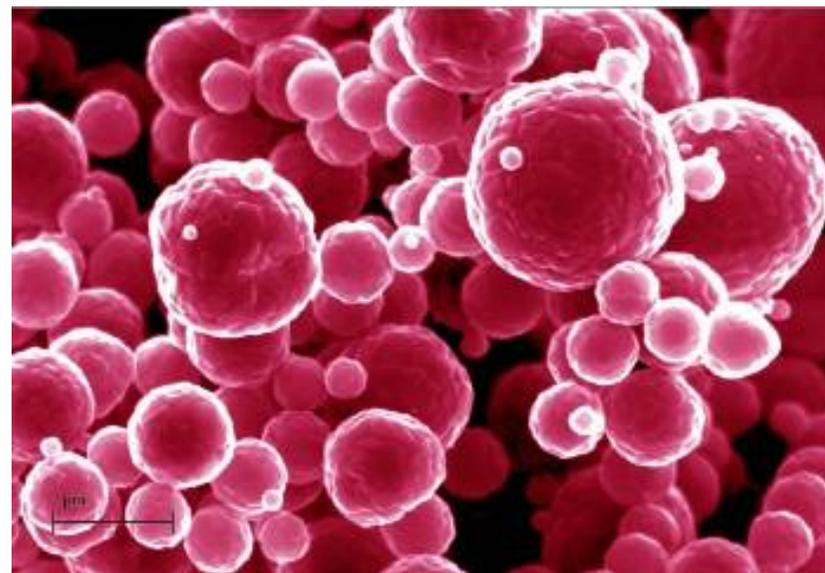
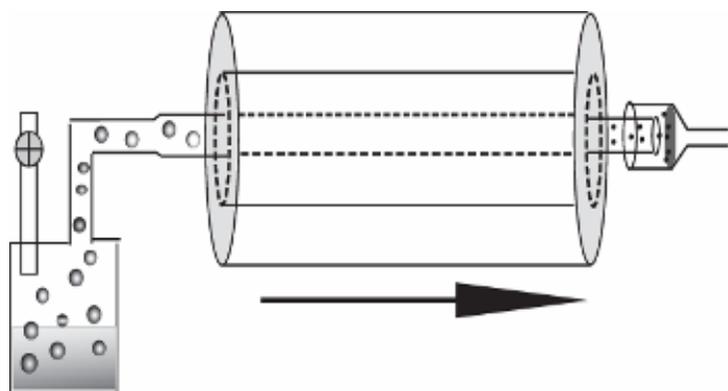
# Методы химической гомогенизации



## **ПИРОЛИЗ АЭРОЗОЛЕЙ –**

**процессы неравновесного превращения коллоидной системы «газ - жидкость» во взвесь твердых частиц или их агрегатов в газовой фазе – носители (испарение растворителя, химическая реакция, диффузия, спекание...)**

# Пиролиз аэрозолей

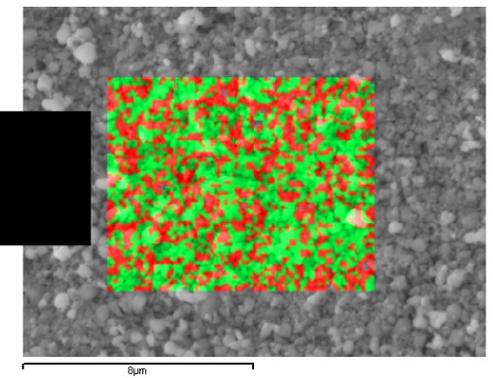
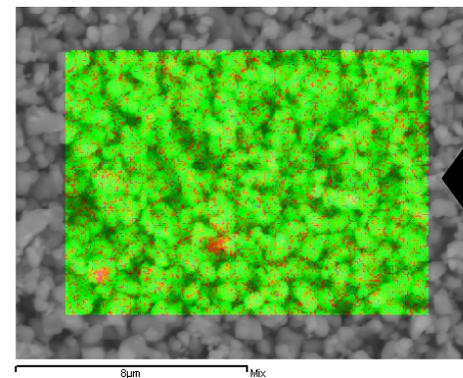
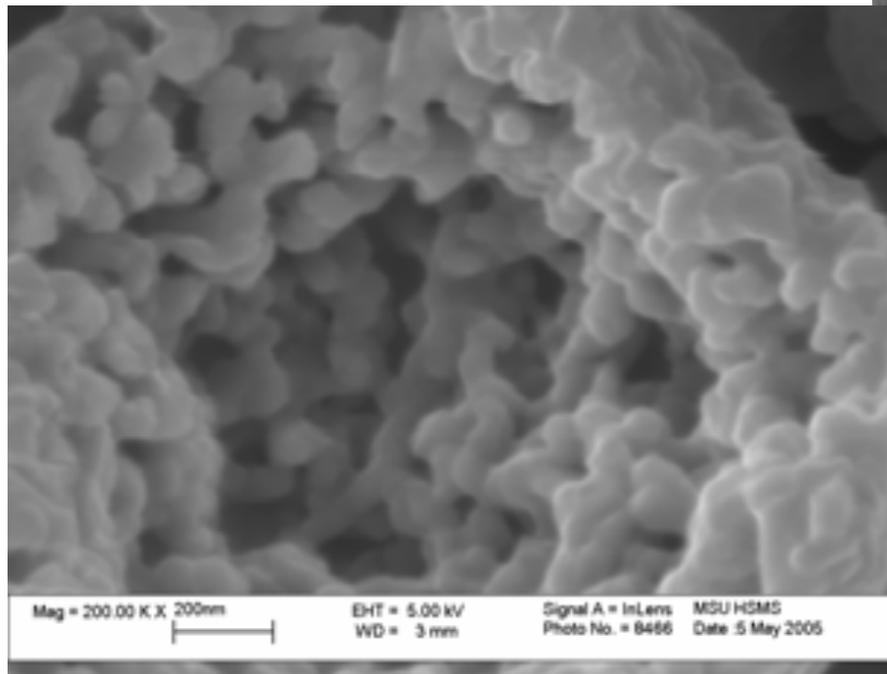
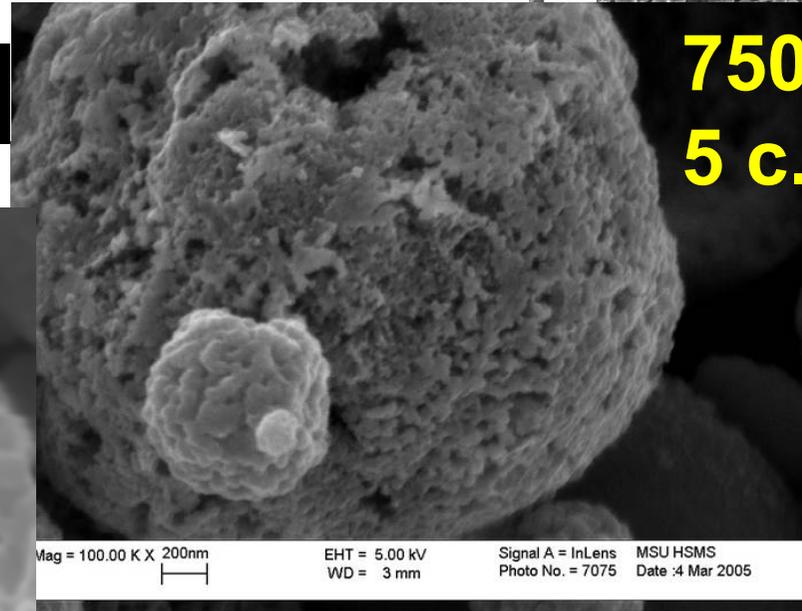
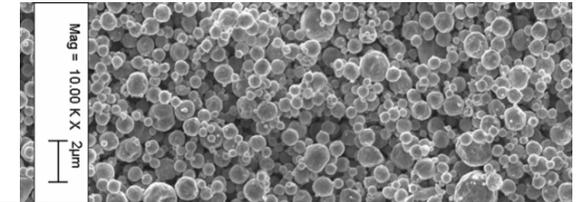
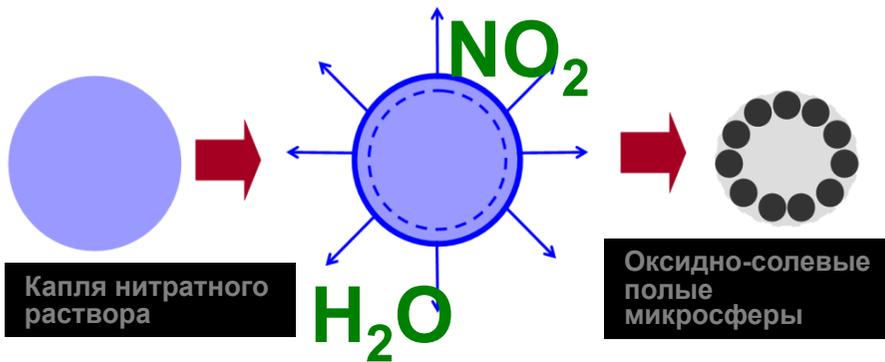


Капля  
раствора

Испарение  
растворителя

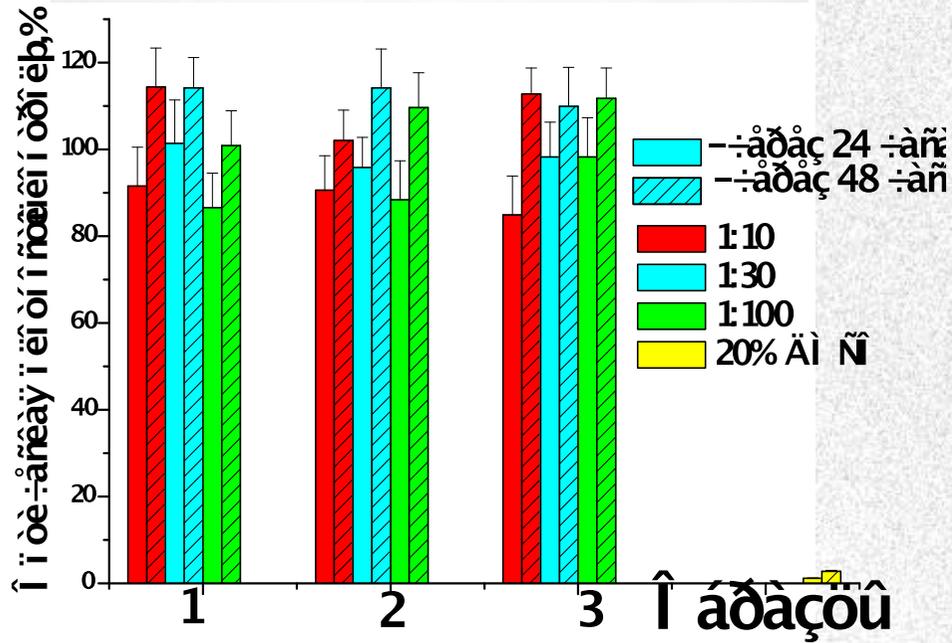
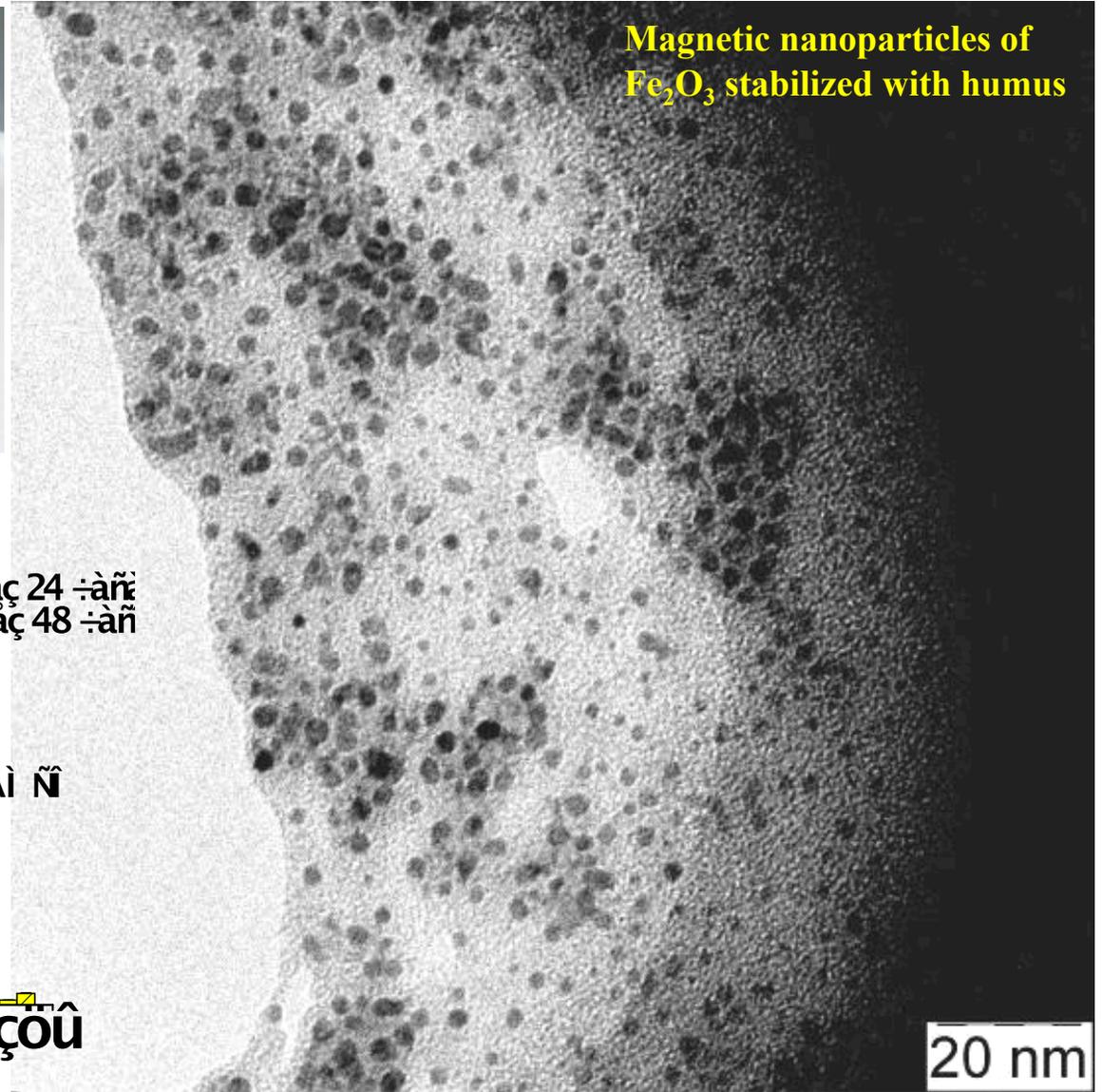


# Пиролиз аэрозолей («нанопрекурсоры»)



- быстрый синтез (12-24 ч.)
- отсутствие загрязнений

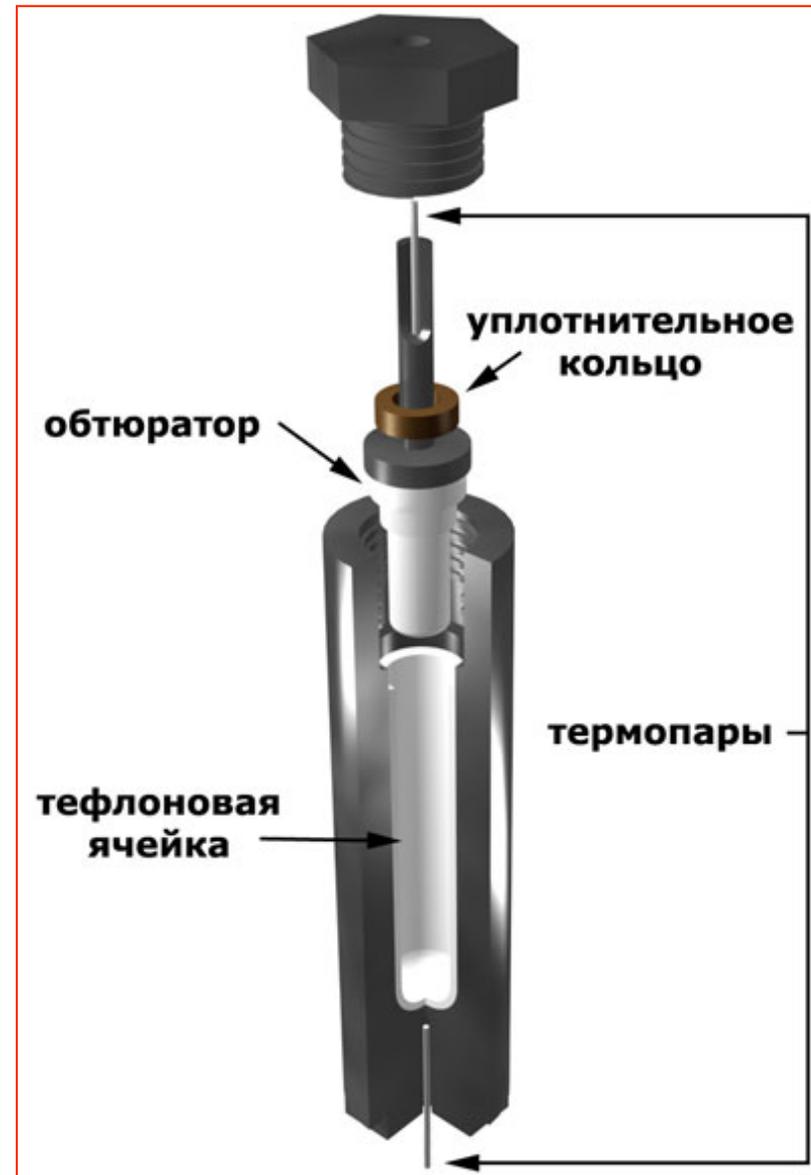
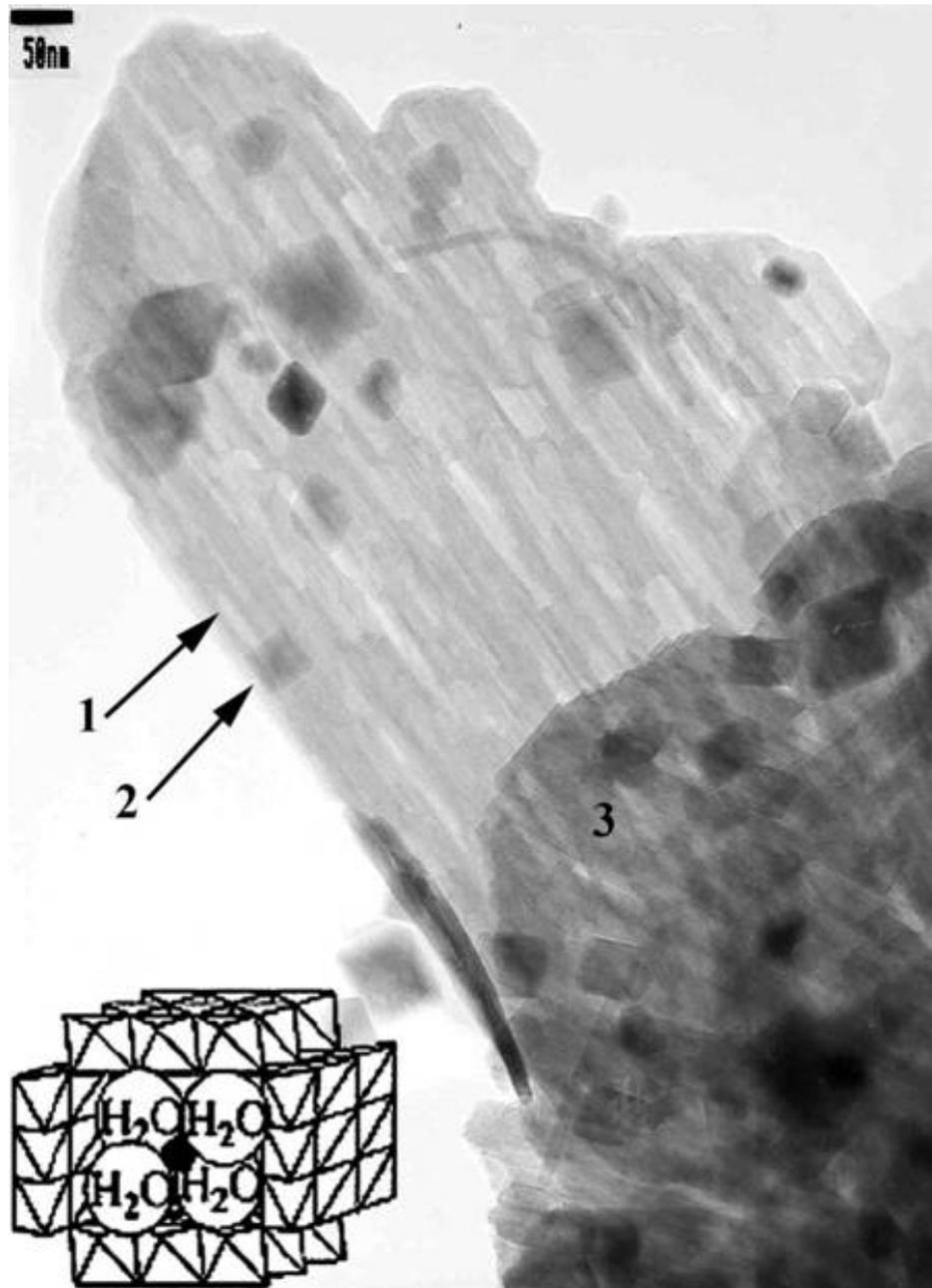
Magnetic nanoparticles of  $Fe_2O_3$  stabilized with humus



# **СОЛЬВОТЕРМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА –**

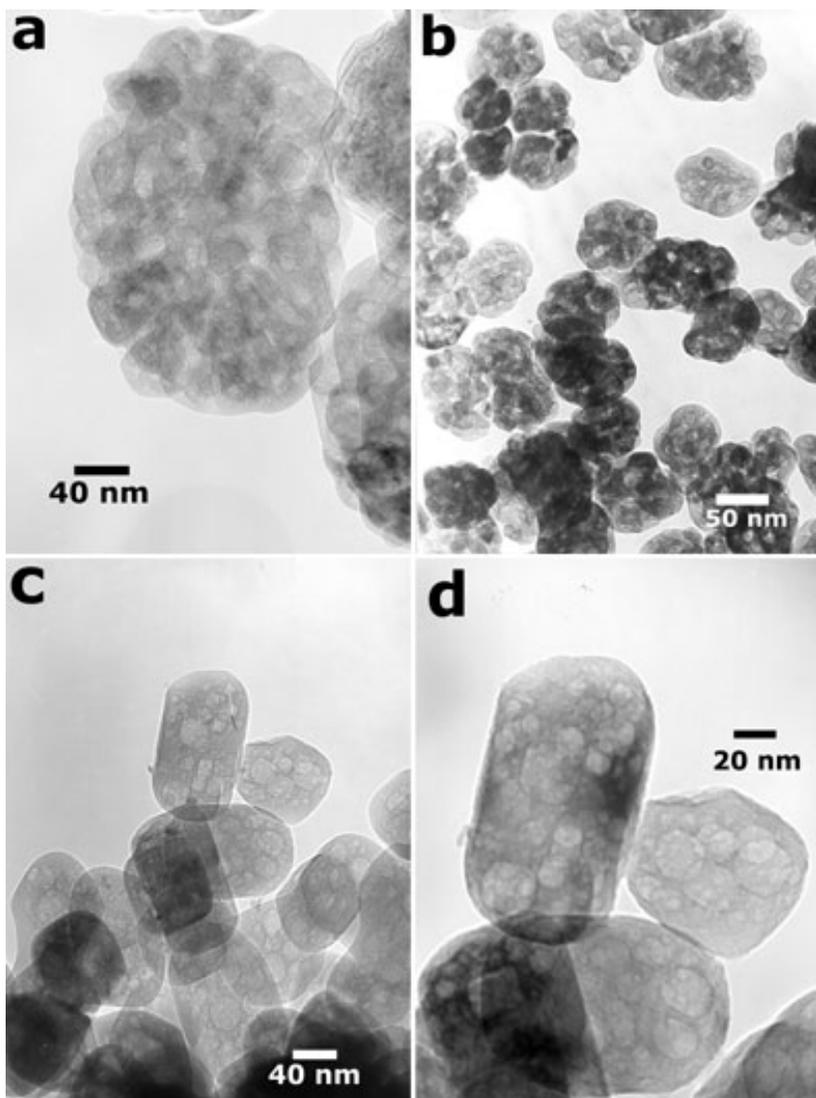
**процессы рекристаллизации, сольволиза,  
химического взаимодействия в  
растворителях при повышенных  
температурах (и давлениях)**

# Гидротермальный синтез

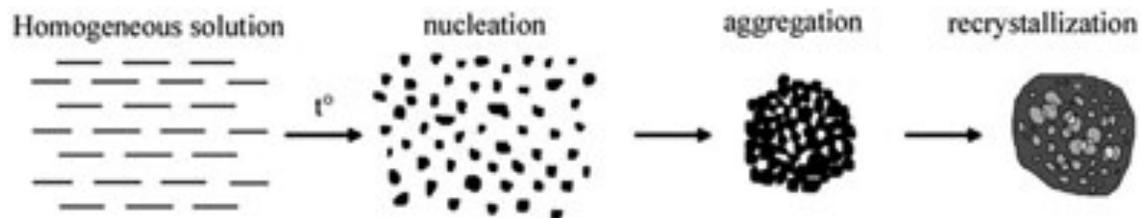


Тодорокит  $\text{Mg}_x\text{MnO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$  55

# Гидротермальная обработка



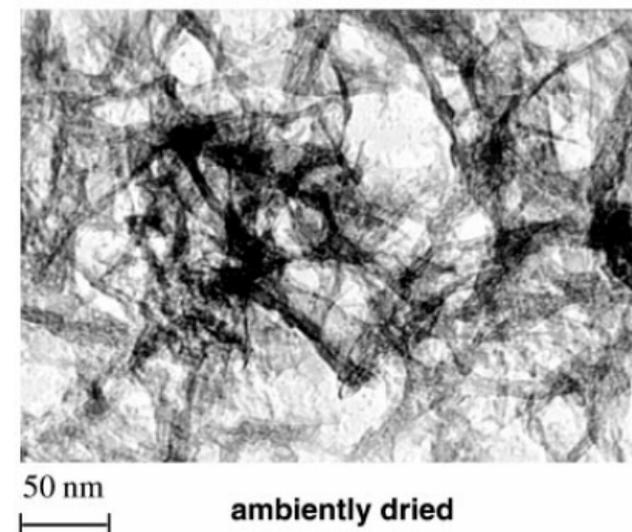
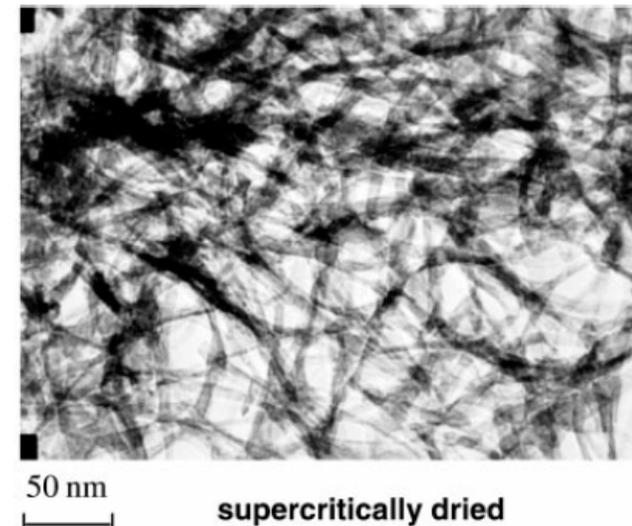
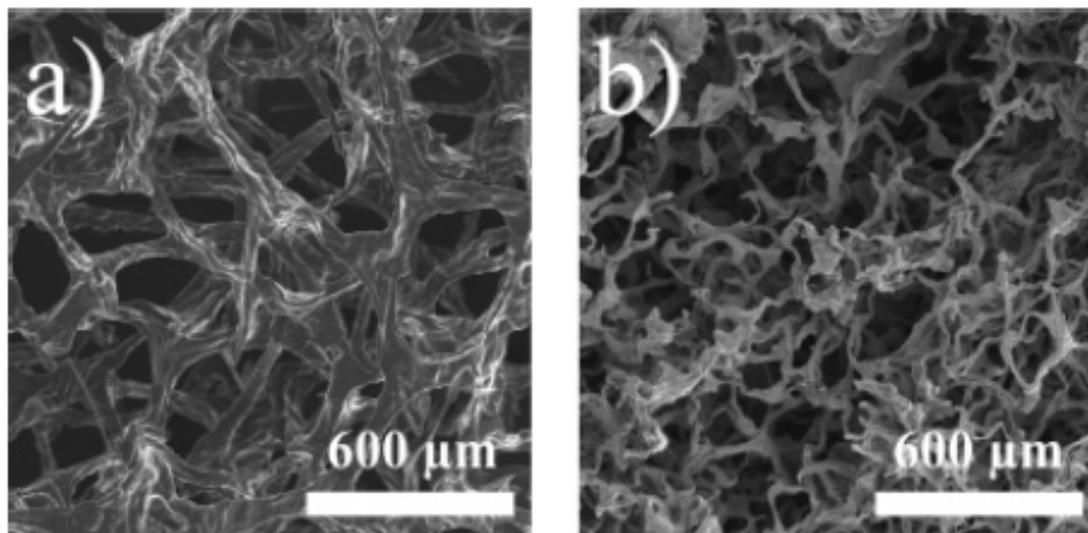
TEM microphotograph of  $\text{TiO}_2$  particles prepared by high-temperature hydrolysis of 0.28M aqueous  $\text{H}_2\text{TiO}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$  solutions: a -  $250^\circ\text{C}$ , 10 min; b -  $250^\circ\text{C}$ , 1 h; c, d -  $250^\circ\text{C}$ , 6 h.



A scheme of mesoporous  $\text{TiO}_2$  particles formation.

Б.Р.Чурагулов и др.

# Пена и аэрогель гибридного материала на основе $V_2O_5$



Hypothesized Orientation of the Tergitol NP10 Chains ( $C_9H_{19}\cdot C_6H_4\cdot(OC_2H_4)_9\cdot OH$ ) within Vanadium Oxide Layer:  
Deduced from X-ray Diffraction Patterns

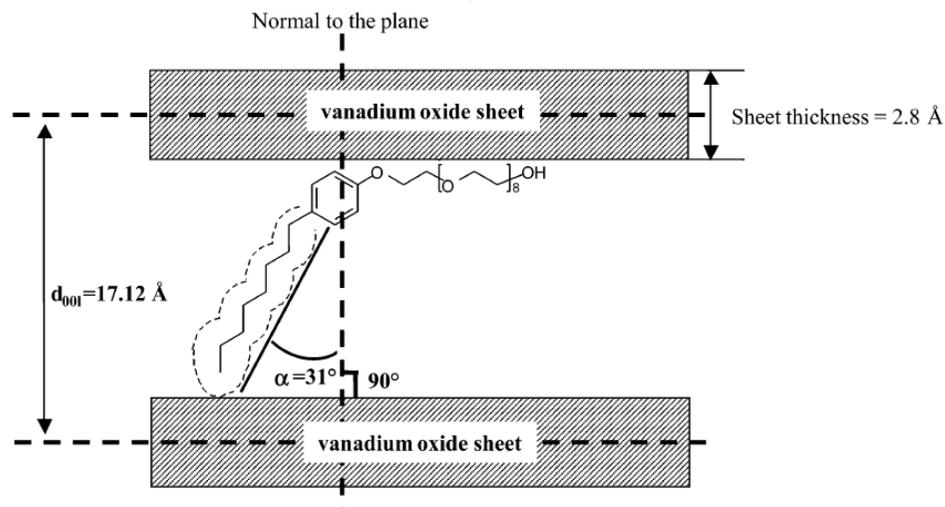
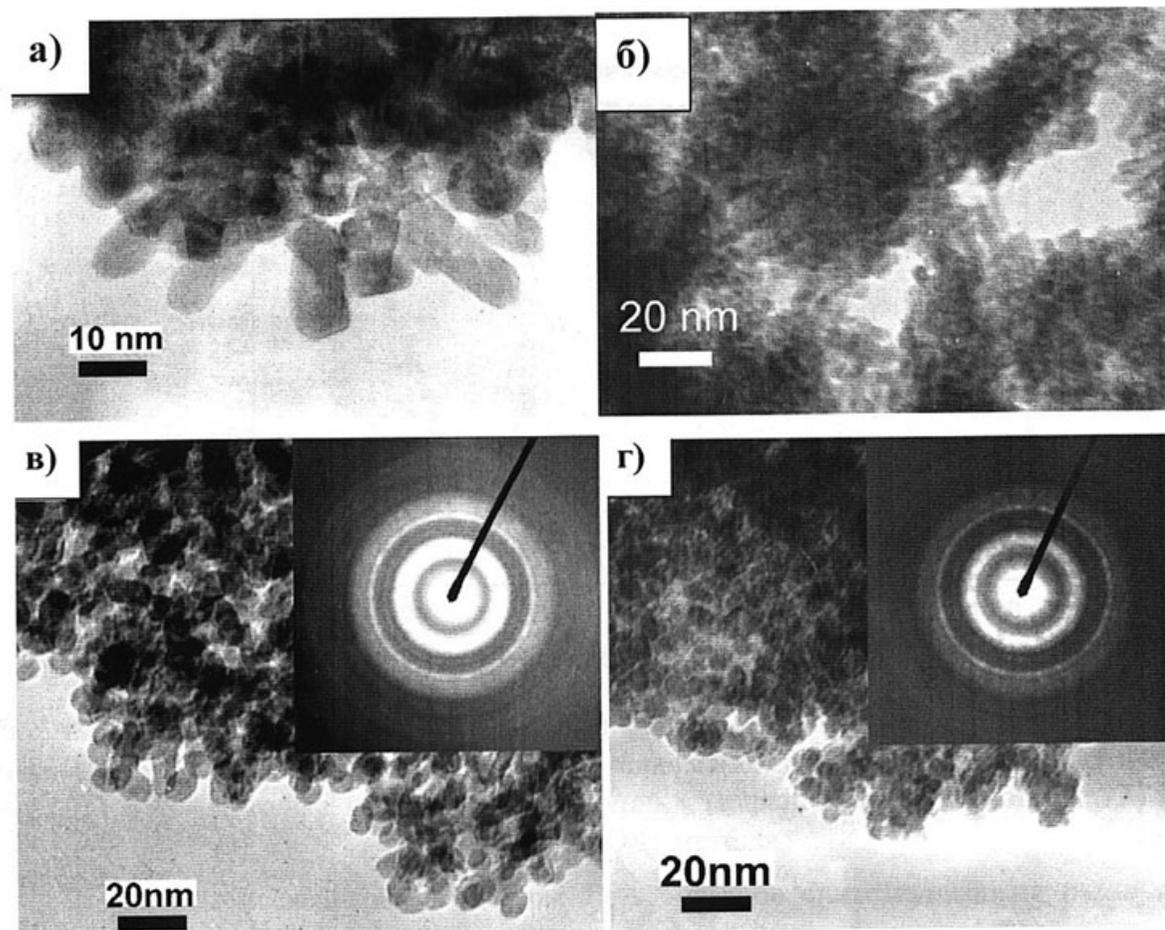


Fig. 7 Transmission electron micrographs comparing vanadium oxide gels dried by (top) supercritical drying from  $CO_2$  to form an aerogel and (bottom) ambient-pressure evaporation of hexane to form an ambigel.

# RESS (расширение сверхкритических растворов)



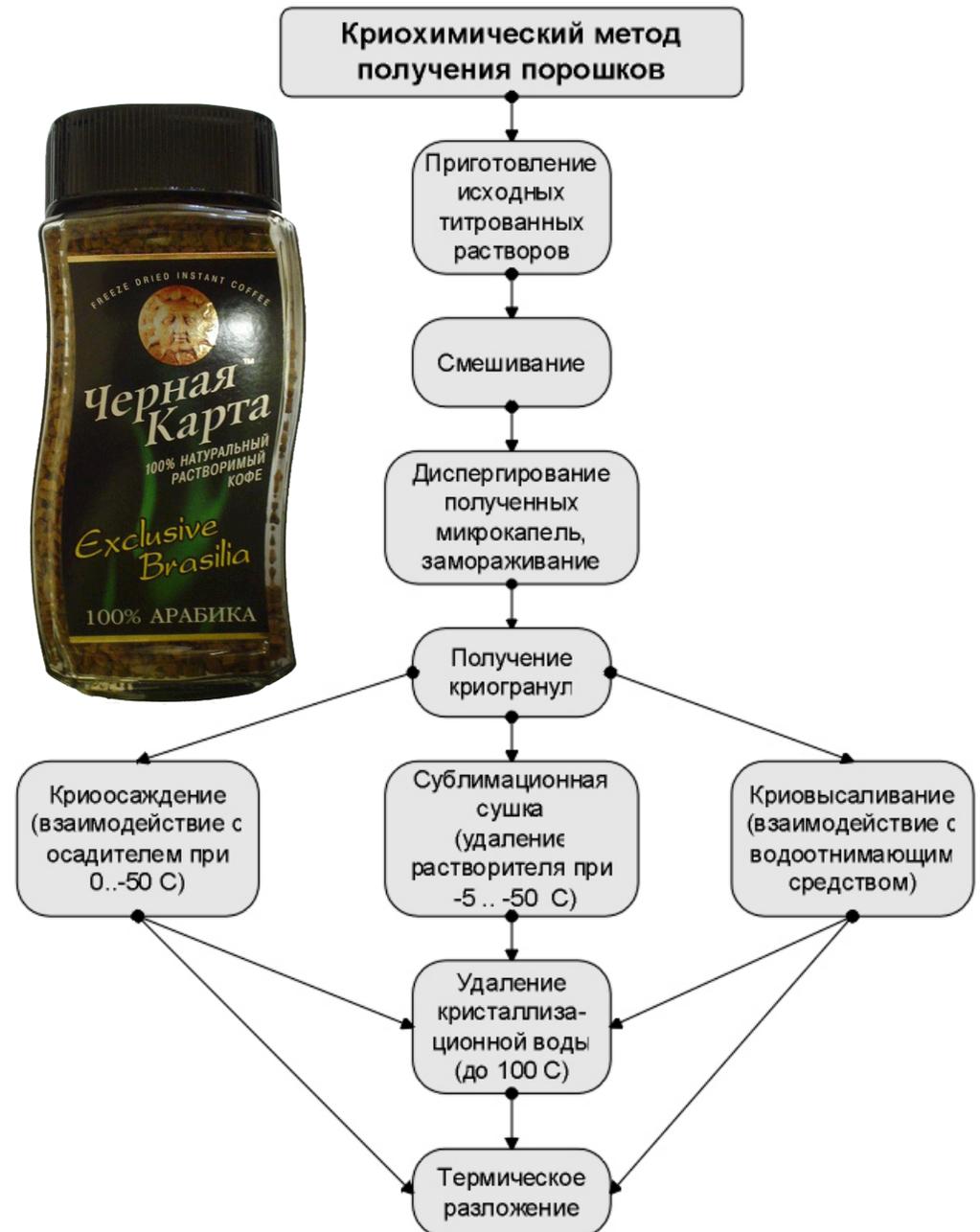
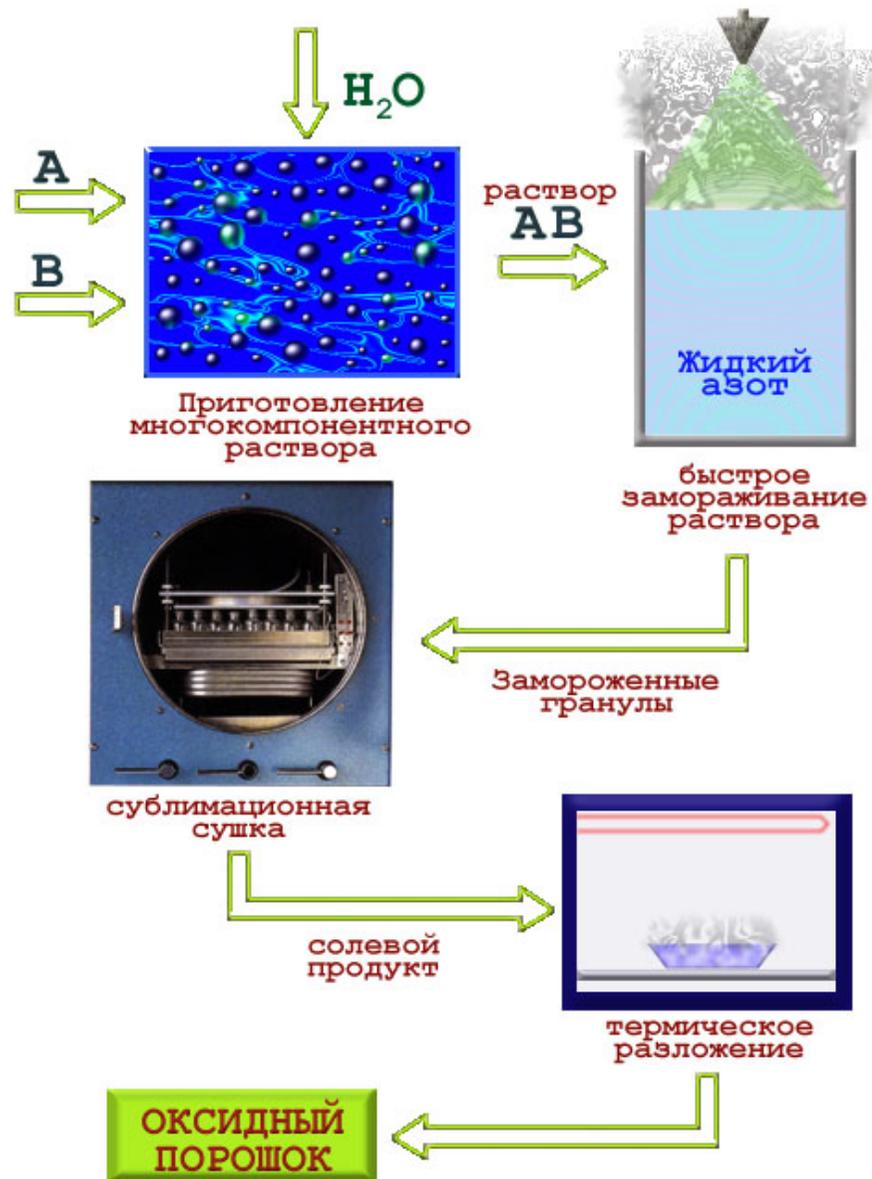
Электронные микрофотографии (ПЭМ) и данные электронной дифракции (на врезках (б и в) нанокристаллических порошков  $ZrO_2$ , синтезированных из водных растворов нитрата циркония следующими методами: а) высокотемпературным гидролизом 0,25 М раствора ( $T=523$  К,  $\tau=6$  ч); б) высокотемпературным гидролизом 0,25 М раствора ( $T=403$  К,  $\tau=1$  ч); в) RESS-методом ( $T=773$  К,  $P=100$  МПа,  $\tau=6-7$  с, 0,05 М); г) RTDS-методом ( $T=623$  К,  $P=100$  МПа,  $\tau=4-6$  с, 0,05 М).

## **КРИОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ –**

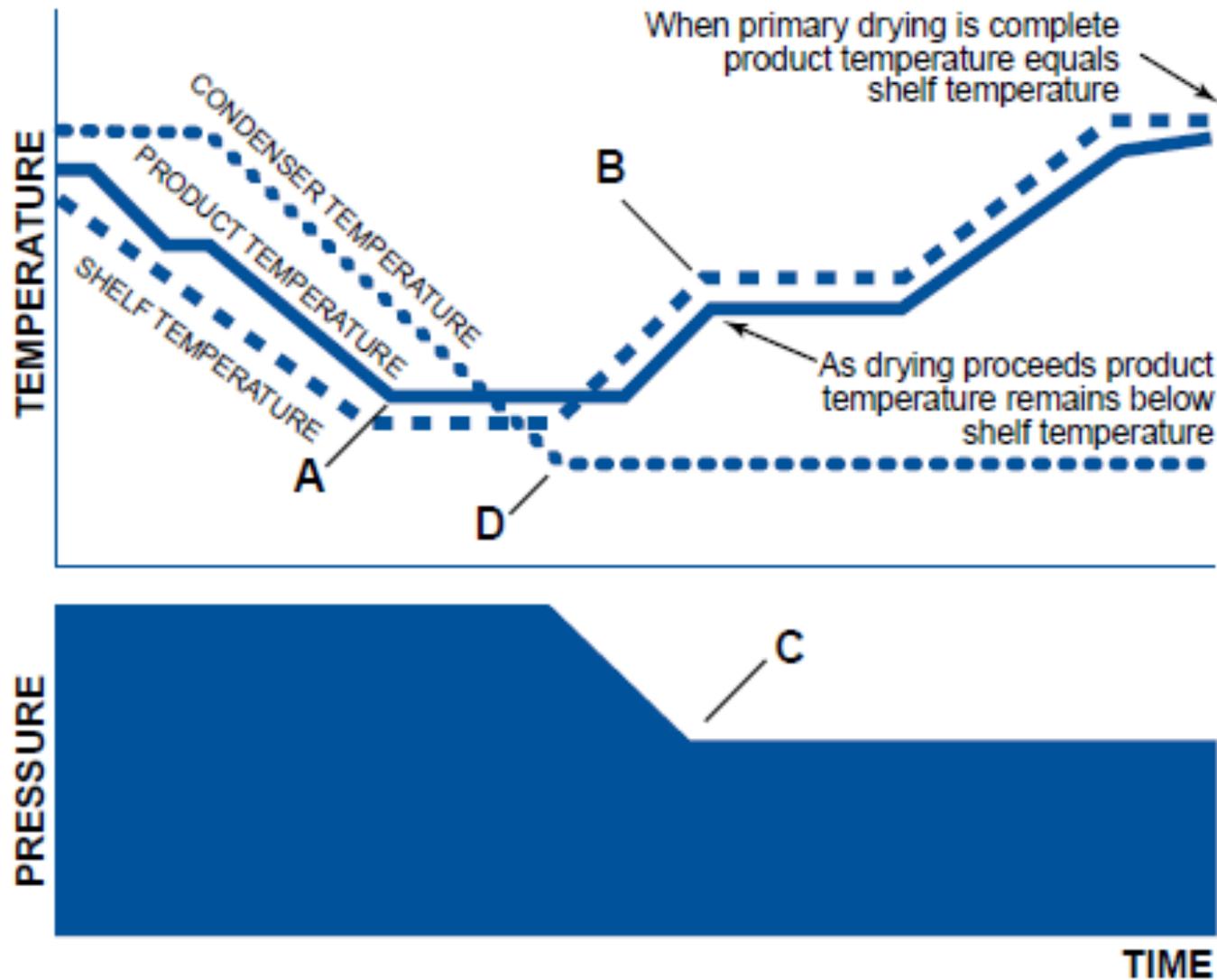
**группа методов, использующих процессы,  
протекающие при пониженных  
температурах (сублимация,  
криоэкстракция, криоосаждение,  
криопропитка и пр.)**

# Сублимационная сушка

## СХЕМА КРИОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ



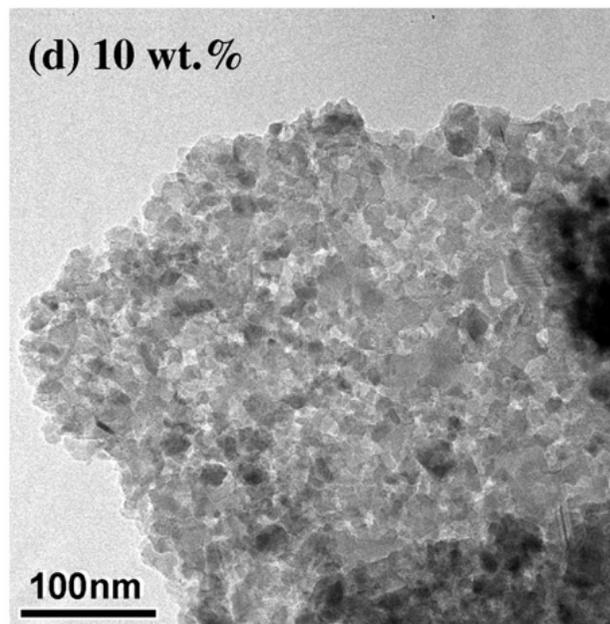
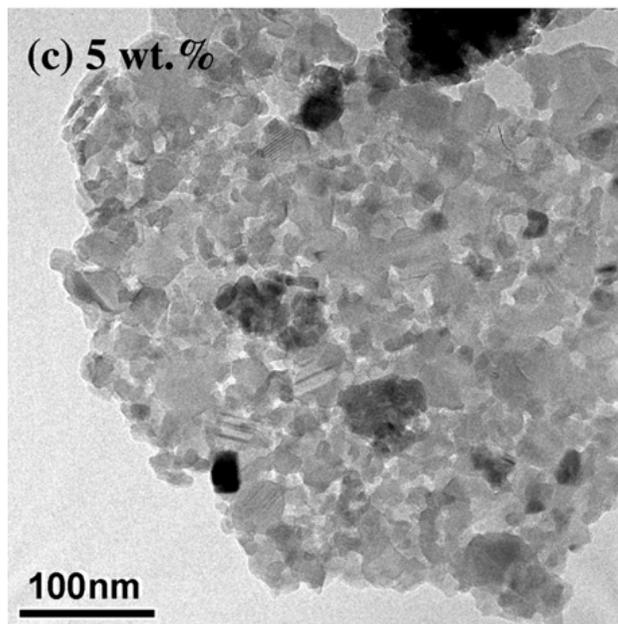
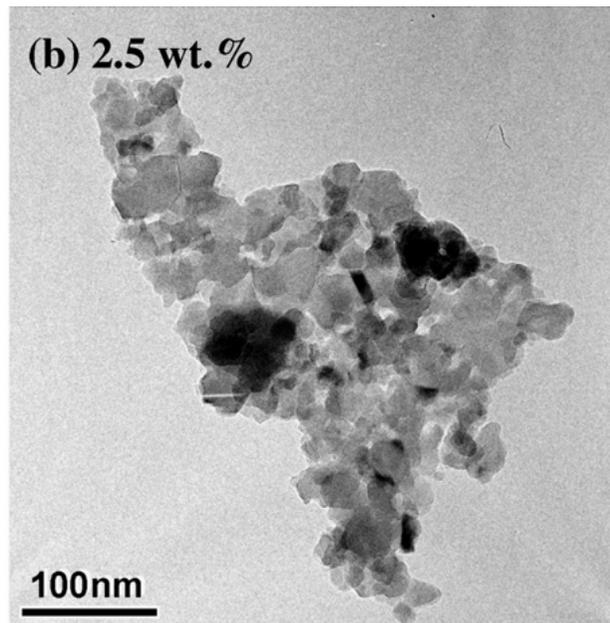
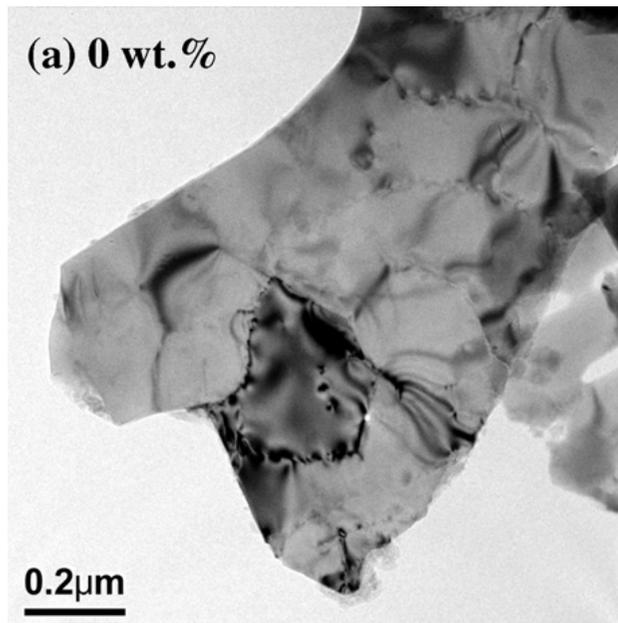
# Оборудование



*Typical Sublimation Cycle found in system utilizing Tray Dryer with shelves.*

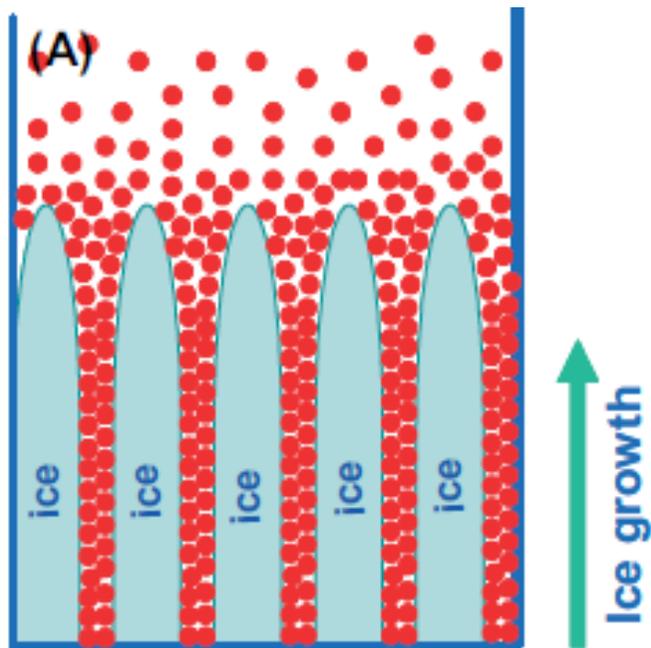


# $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ криогели после отжига

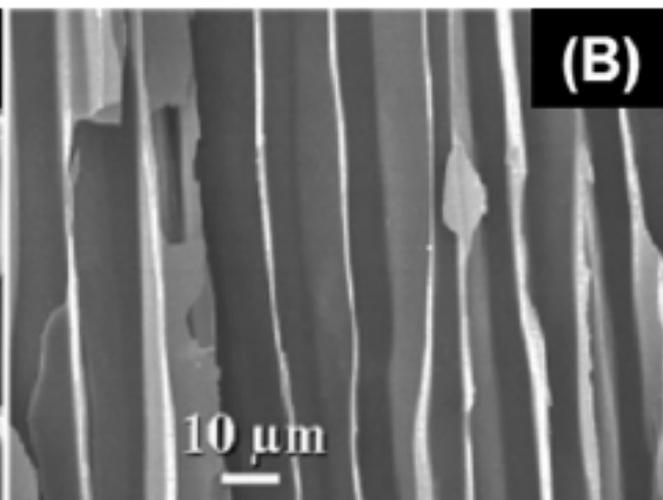
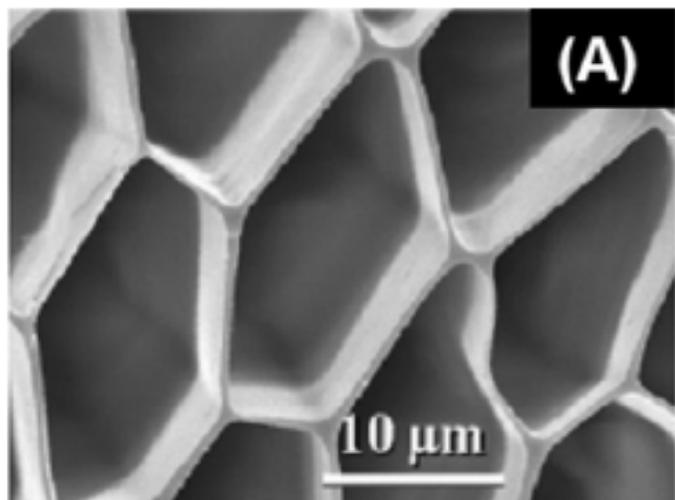
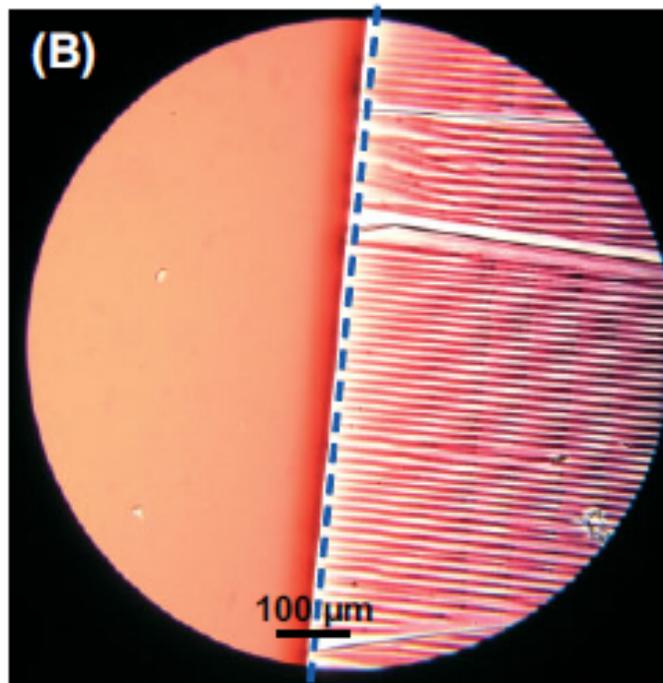


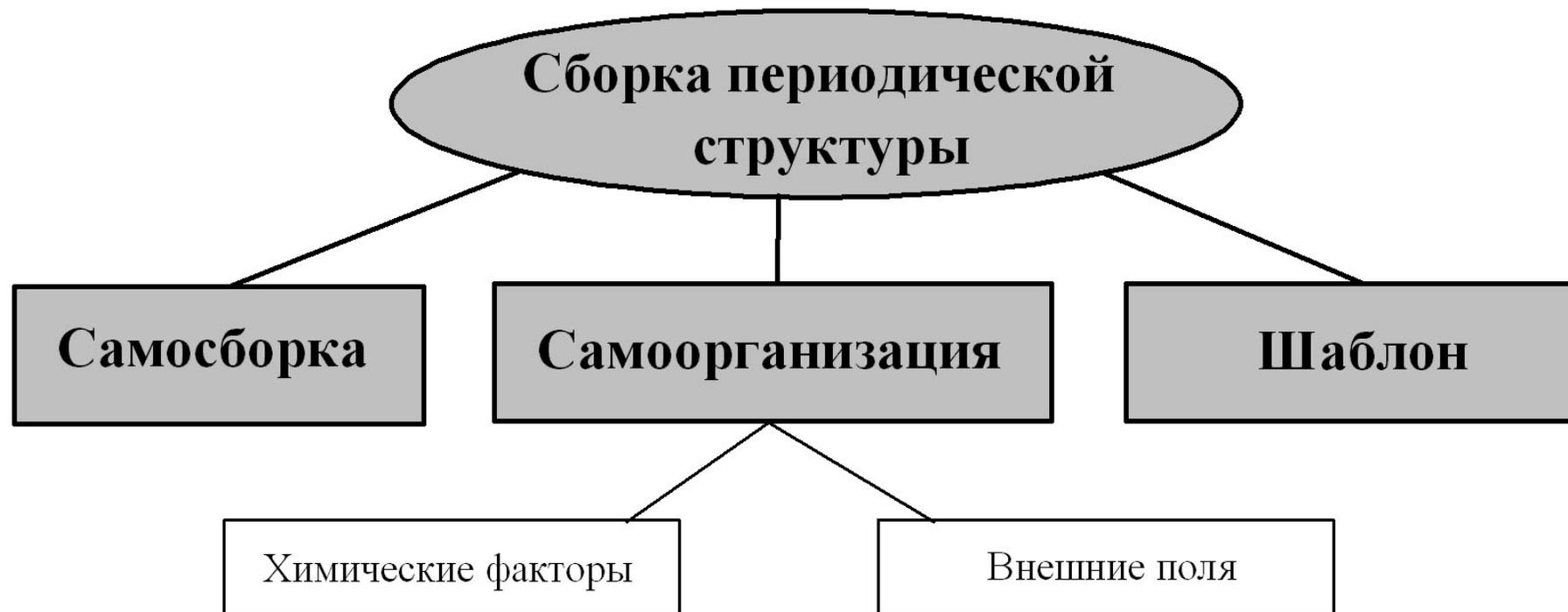
TEM images of silica–alumina cryogels after the calcination at 1200 C for 5 h. The silica content: (a) 0 wt%, (b) 2.5 wt%, (c) 5 wt%, and (d) 10 wt%.

# Текстурирование холодом



● particles, polymeric molecules or mixture of them

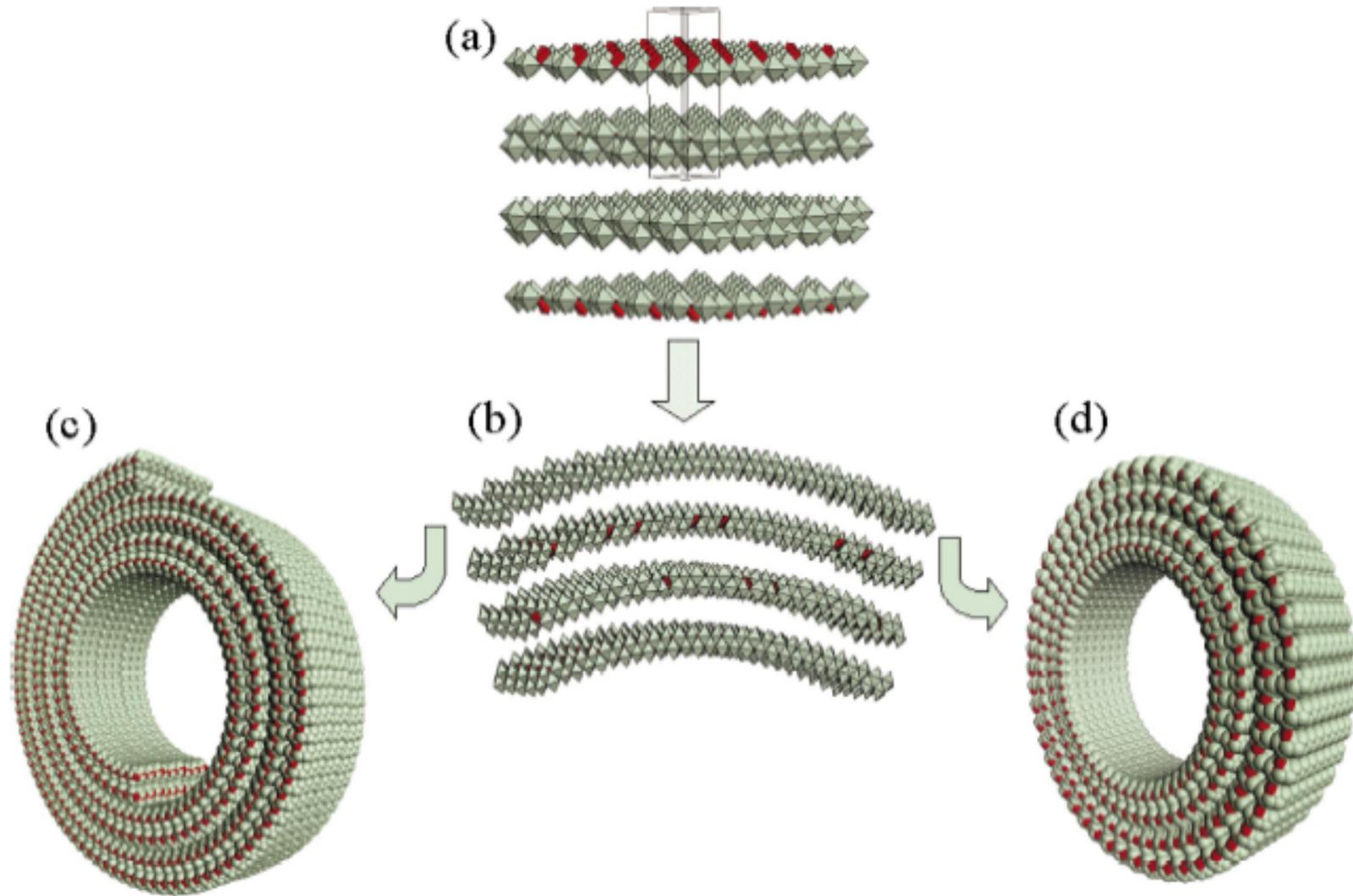




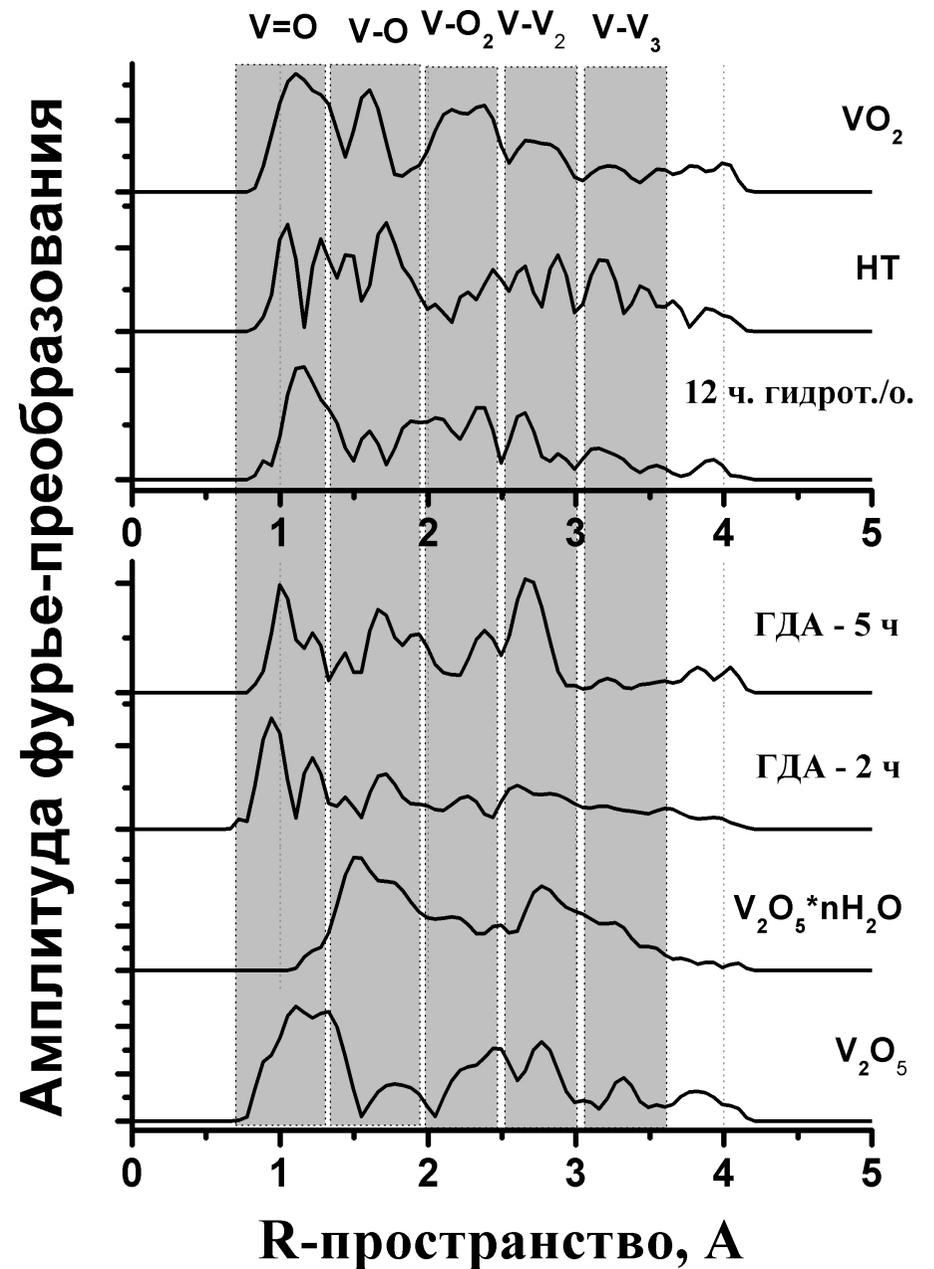
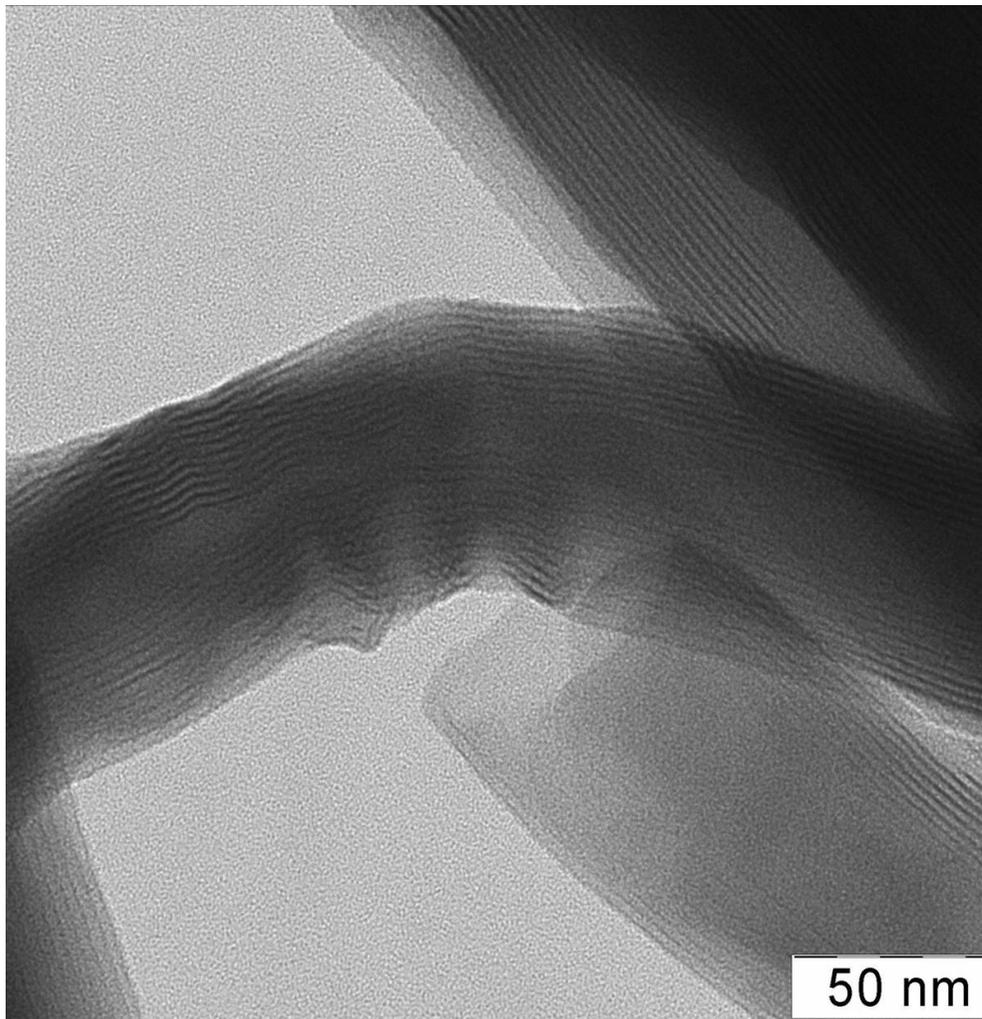
*Самосборка* – процесс образования упорядоченной надмолекулярной структуры или среды, в котором в практически неизменном виде принимают участие только компоненты (элементы) исходной структуры, аддитивно составляющие или «собирающие», как части целого, результирующую сложную структуру.

*Самоорганизация* может быть использована как механизм создания сложных «шаблонов», процессов и структур на более высоком иерархическом уровне организации, чем тот, что наблюдался в исходной системе, за счет многочисленных и многовариантных взаимодействий компонент на низких уровнях, на которых существуют свои, локальные, законы взаимодействия, отличные от коллективных законов поведения самой упорядочивающейся системы. Для процессов самоорганизации характерны различные по масштабу энергии взаимодействия, а также существование ограничений степеней свободы системы на нескольких различных уровнях ее организации.

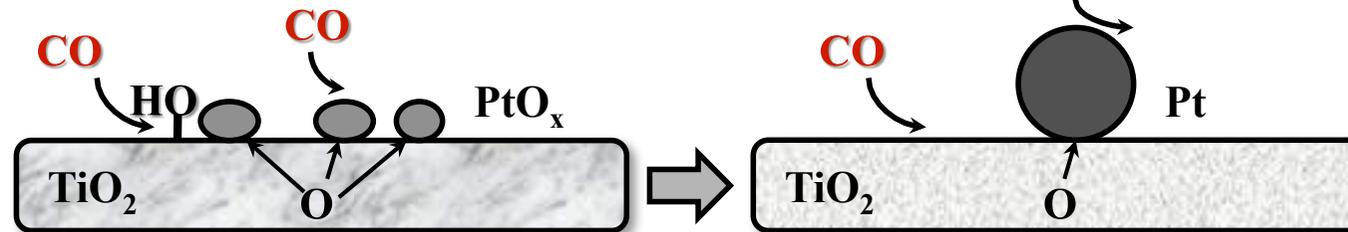
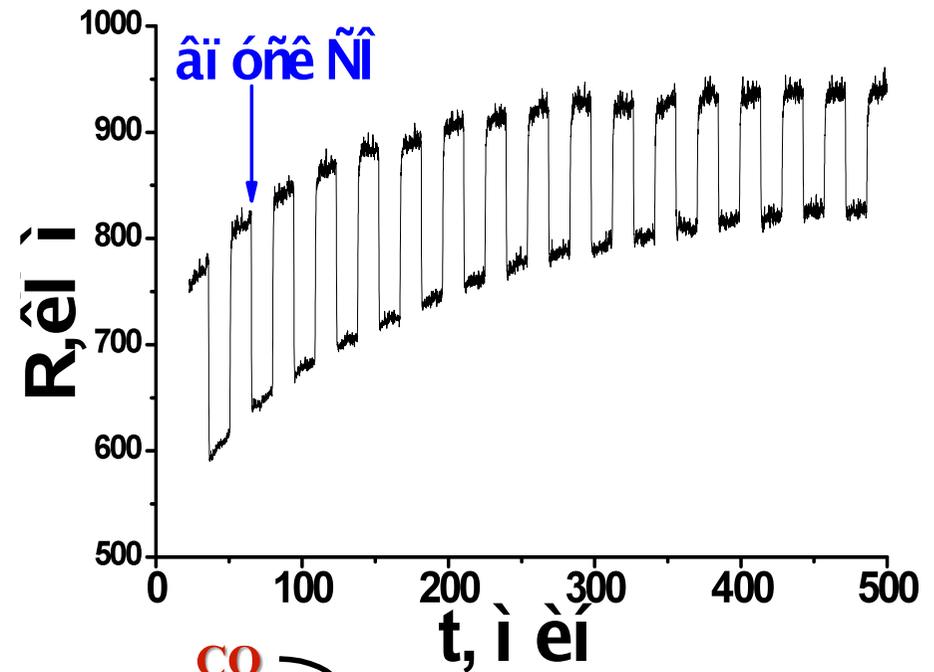
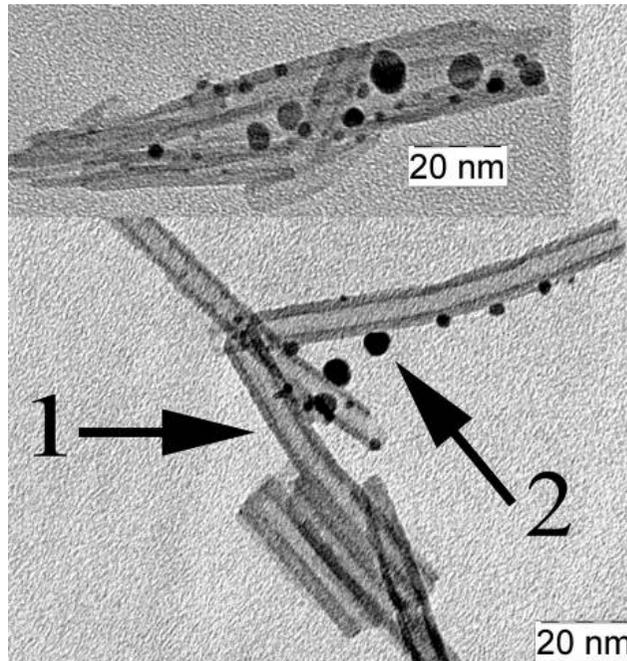
# Оксидные нанотрубки



# Локальная структура ВНТ

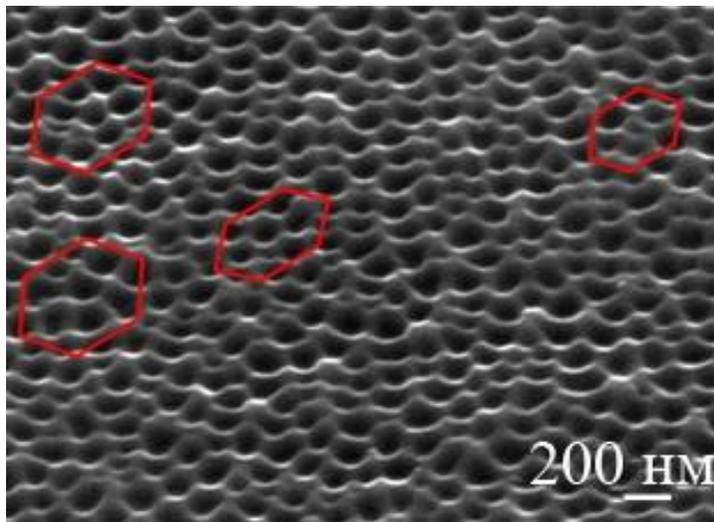
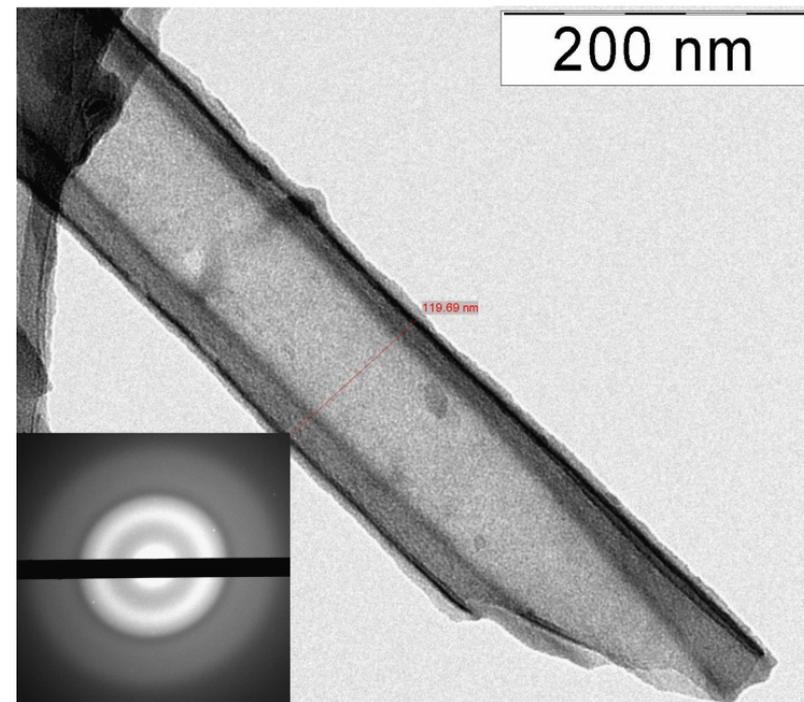
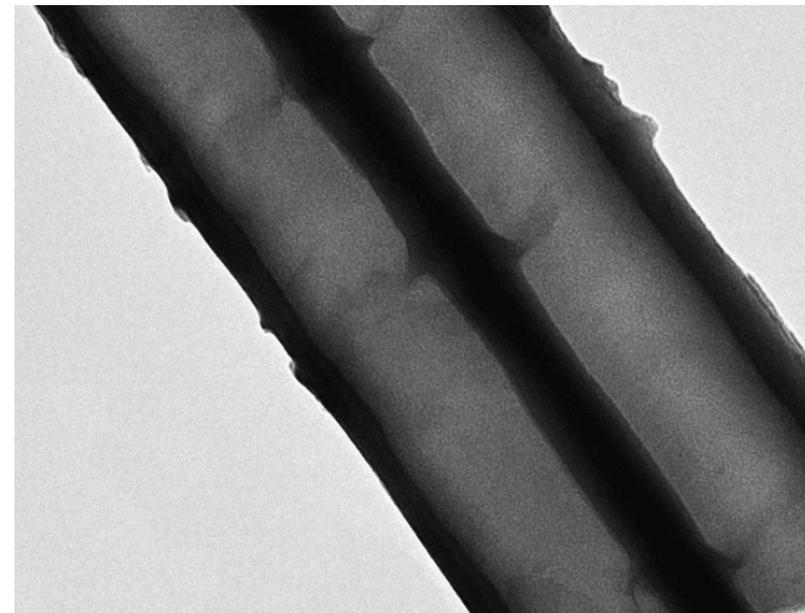
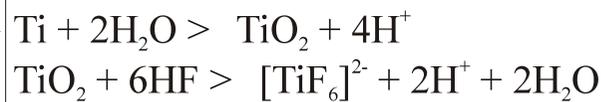
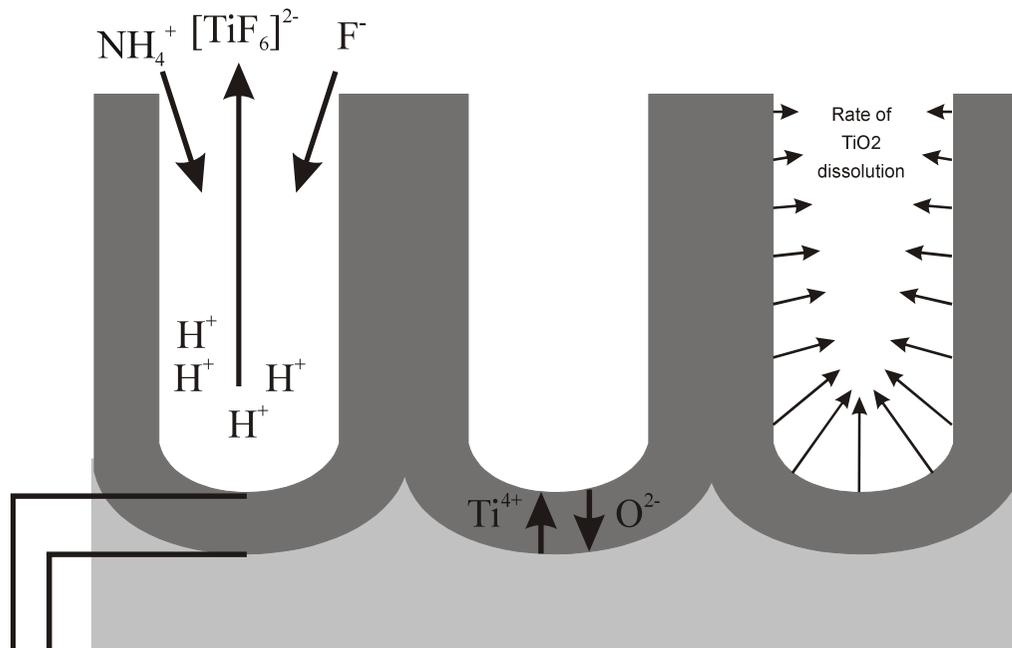


# Сенсорика / Катализ

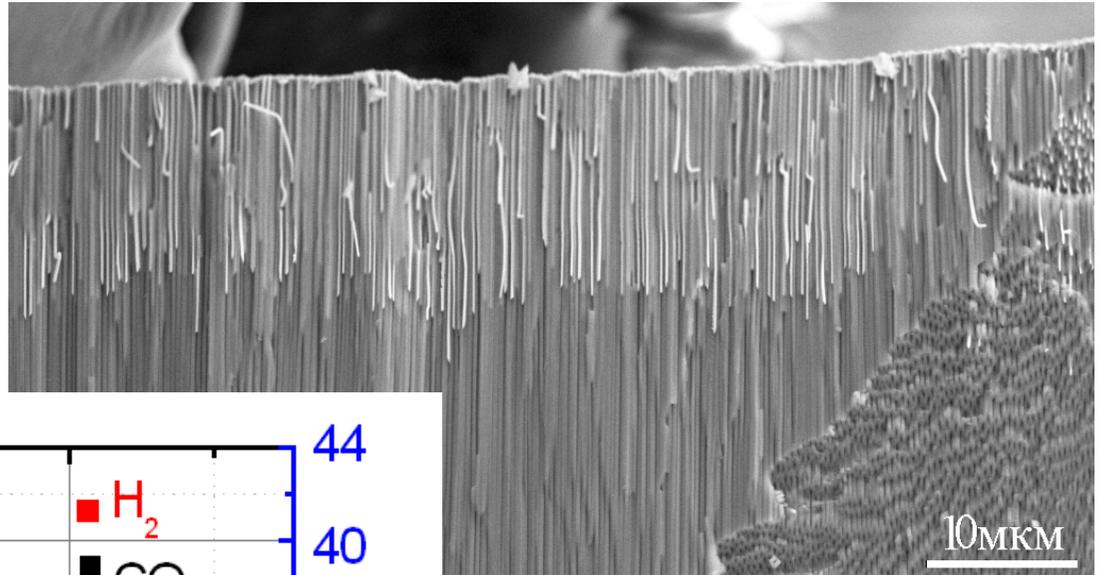
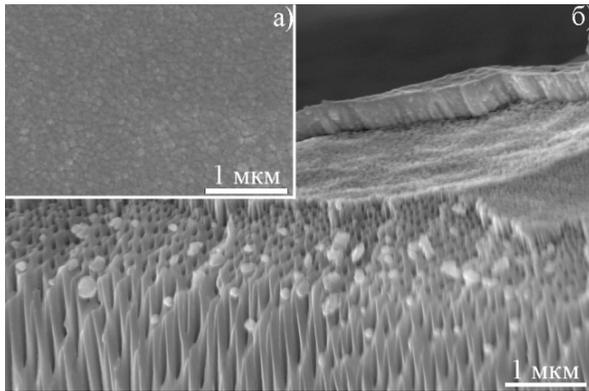


Структура	Удельная площадь поверхности, м <sup>2</sup> /г	Температура начала конверсии, °С	Температура 100% конверсии, °С
нанотрубки (ТНТ)	195±10	140±5	260±5
наностержни (ТНС)	33±3	190±5	320±5
нанопорошок	450±10	220±5	380±5
рутил	10±1	325±5	-
анатаз	8±1	345±5	-

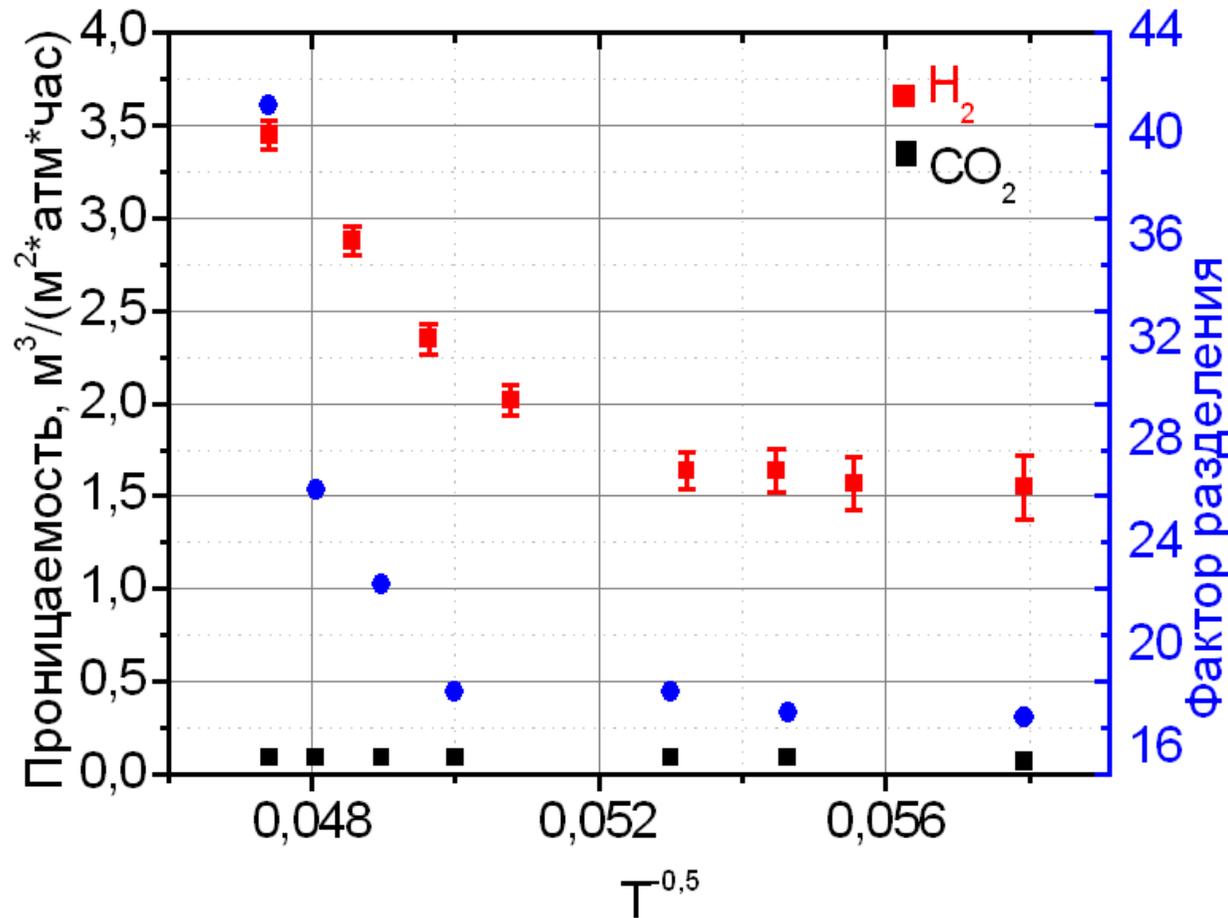
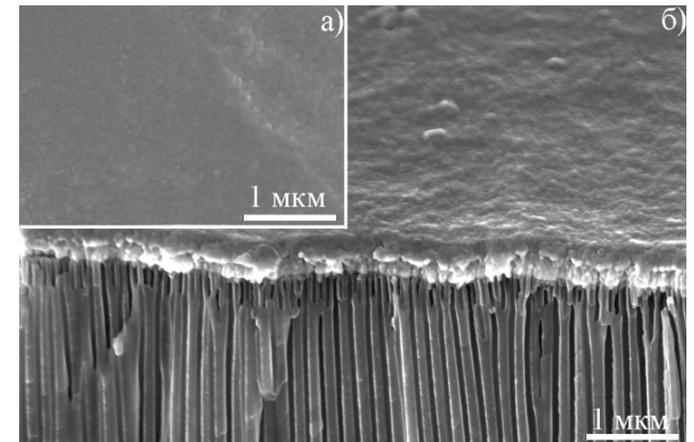
# Пористые пленки диоксида титана



# Мембранные технологии



Мембраны Pd/  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

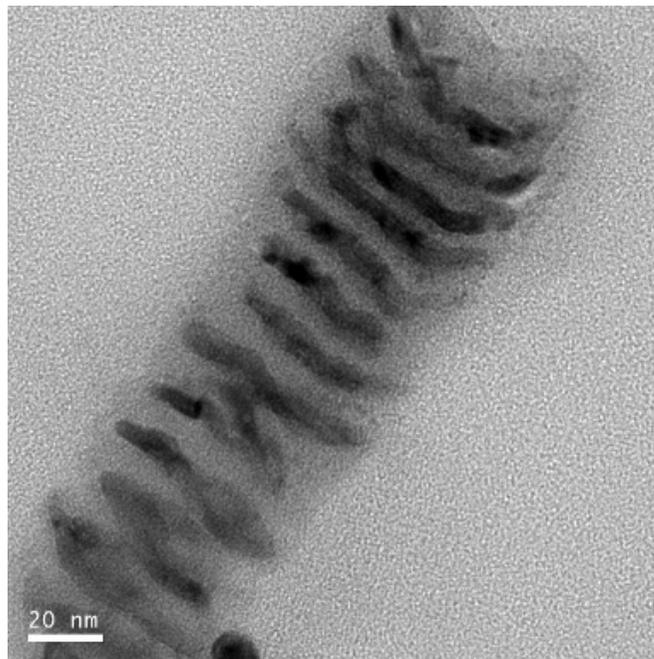




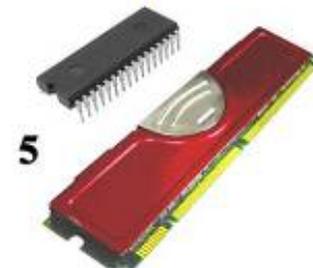
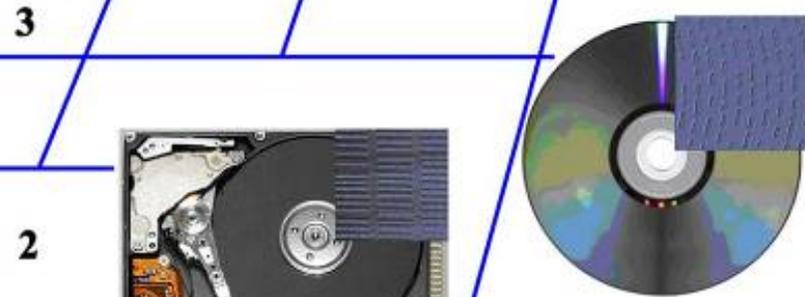
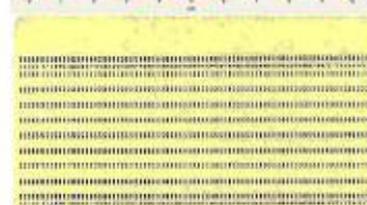
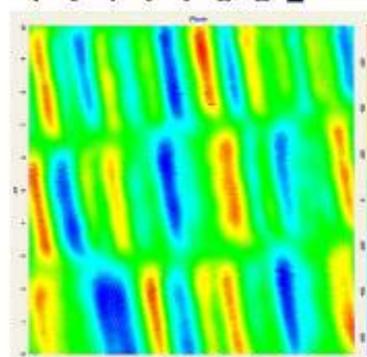
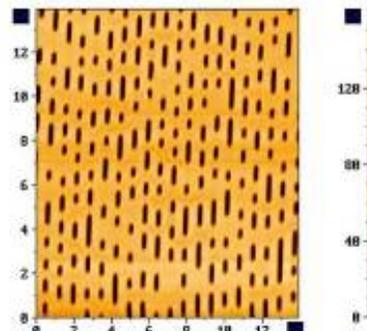
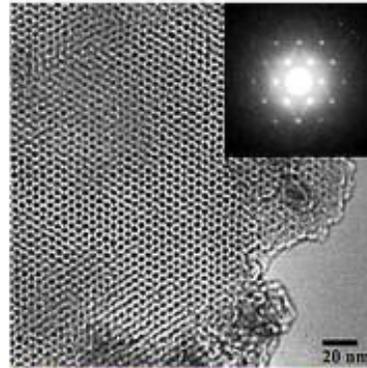
# Информационные технологии и наноэлектроника

Нанопроволока Fe в мезопористом SiO<sub>2</sub>

Сверхвысокая плотность записи информации (1-10 Тбит/кв.дюйм)



Композитная магнитная нанопроволока (электроосаждение в порах анодированного алюминия)



1

2

3

4

5

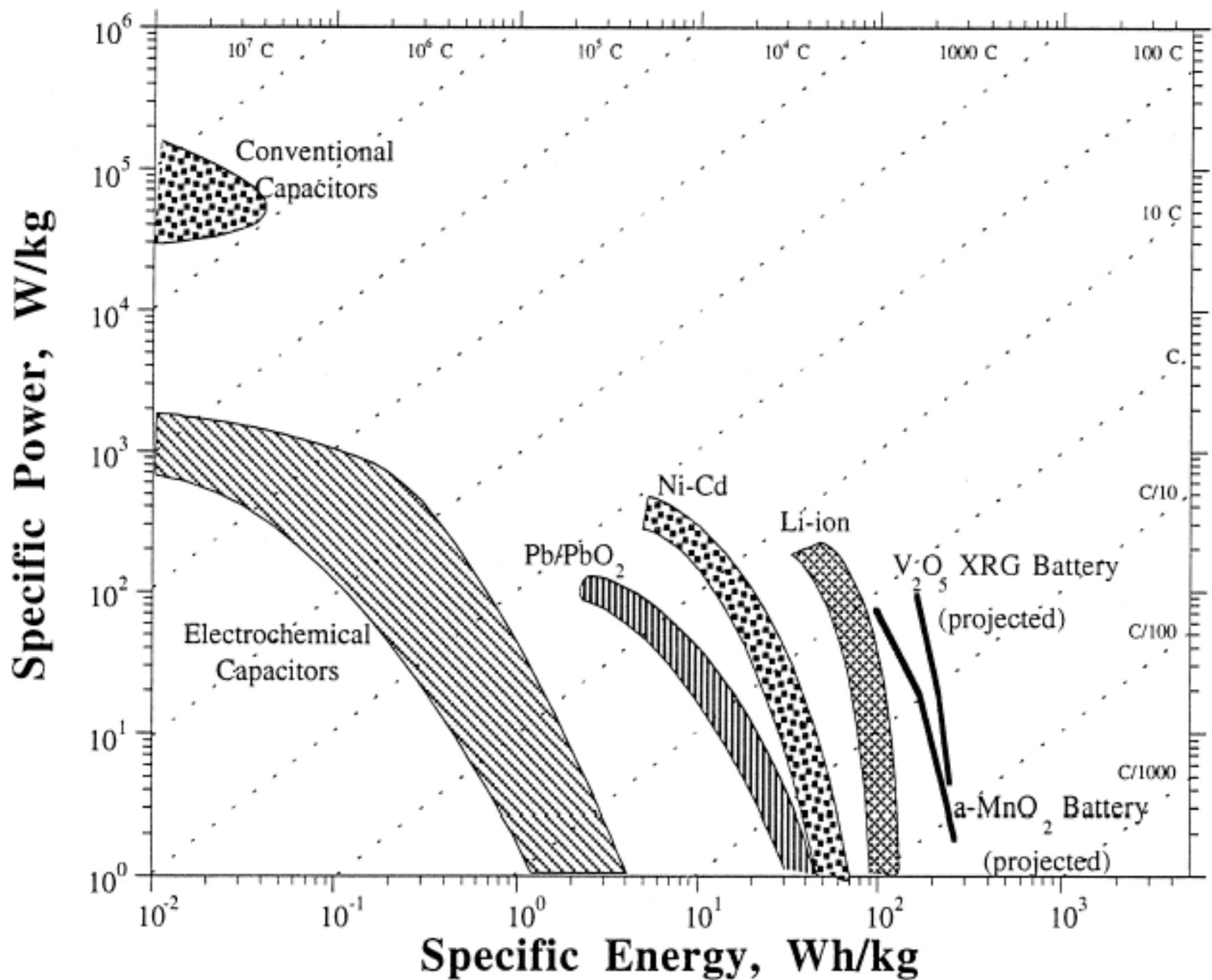
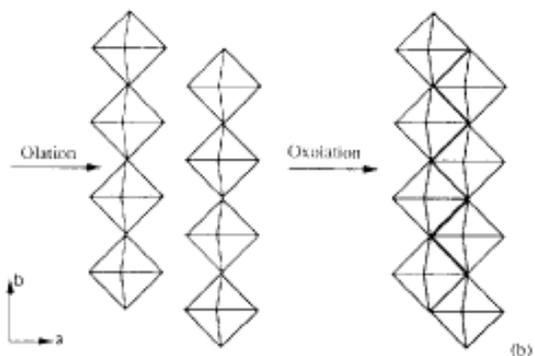
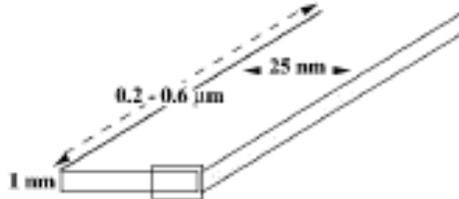
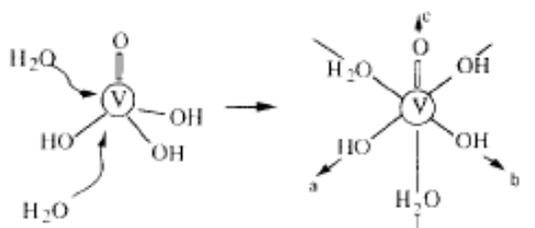
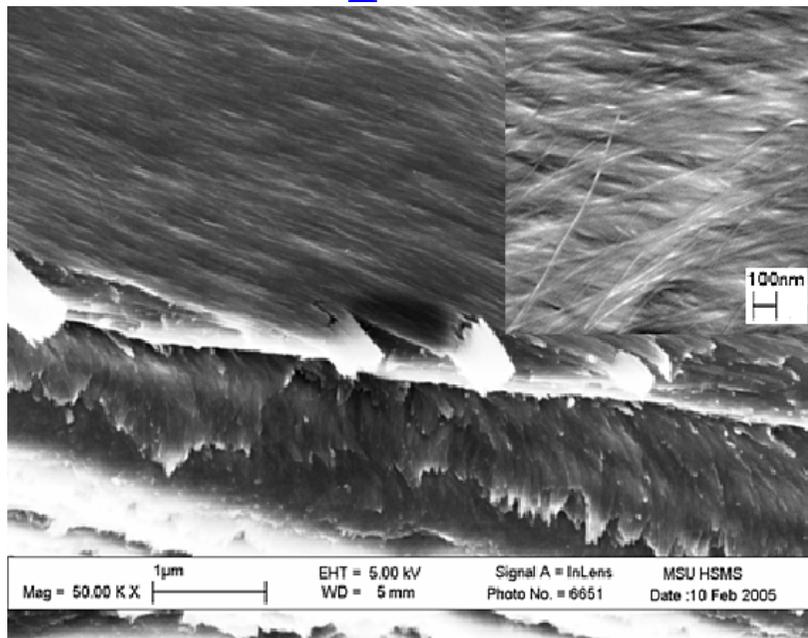


Fig. 4. Ragone plots of projected batteries based on  $V_2O_5$  XRG and  $a-MnO_2$ , and commercial batteries and capacitors.

# Ксерогели оксидов ванадия

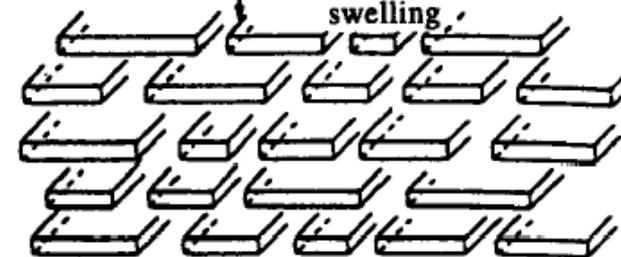


(a)  
Hydrated powder

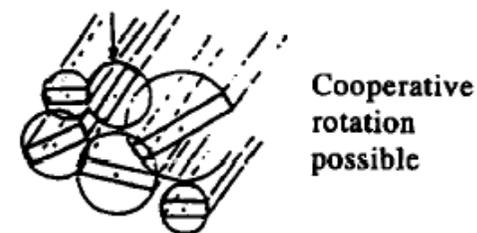


One dimensional swelling

(b)  
Inelastic paste



(c)  
Thixotropic elastic gel



(d)  
Viscous liquid

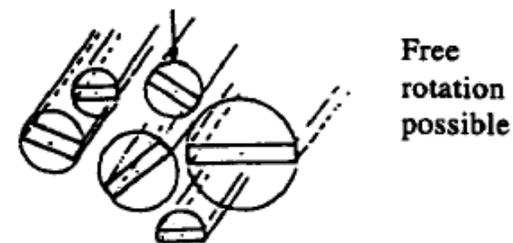
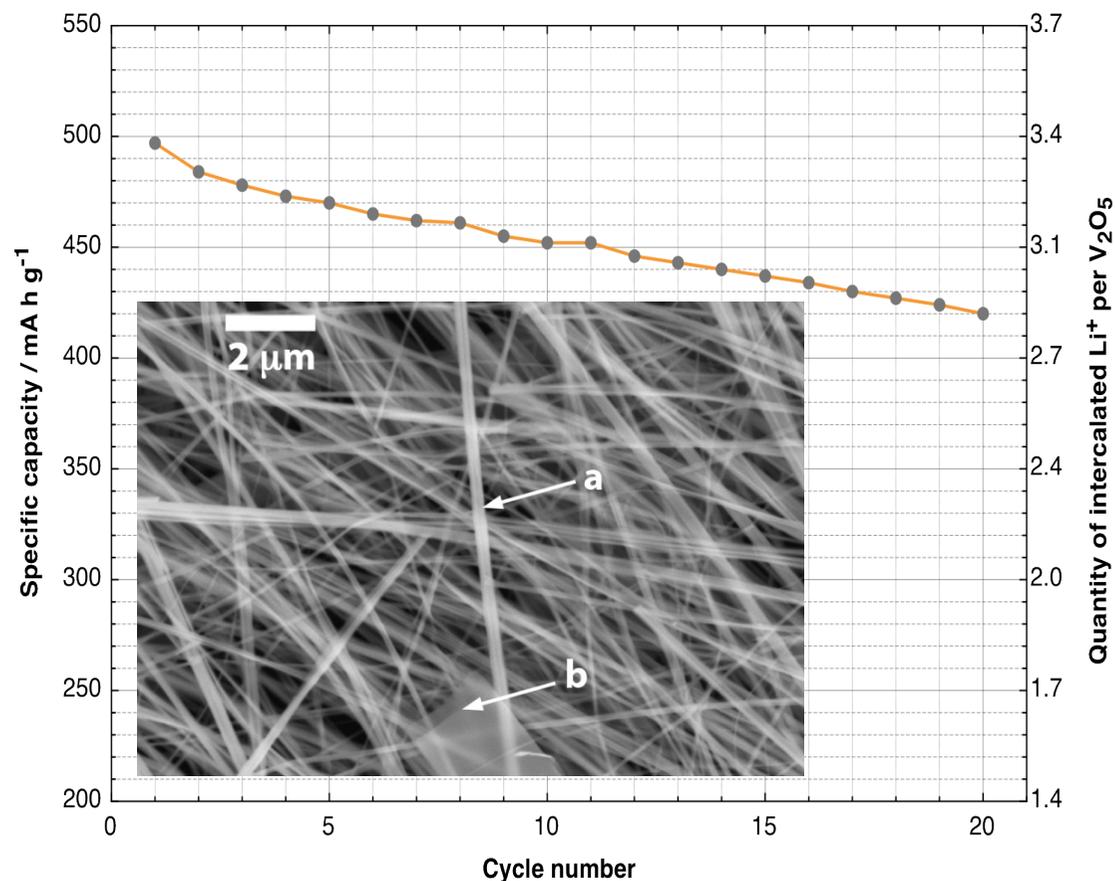
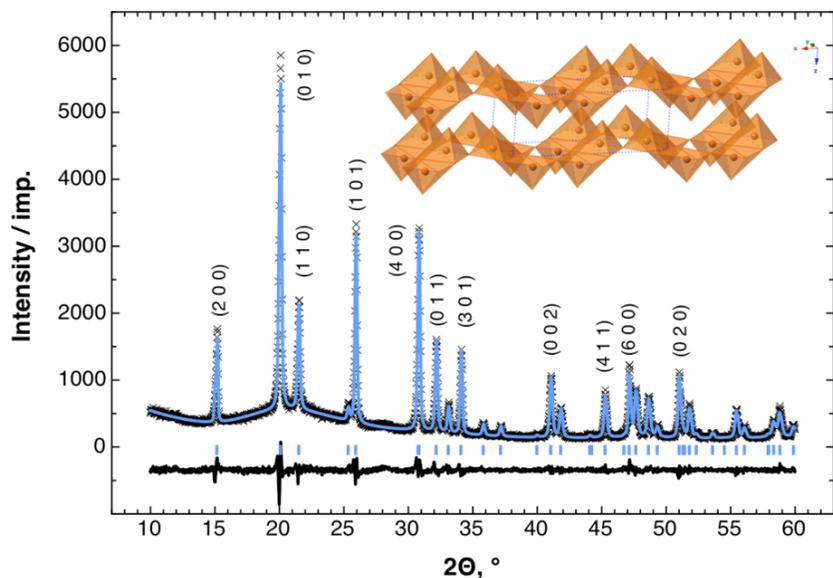
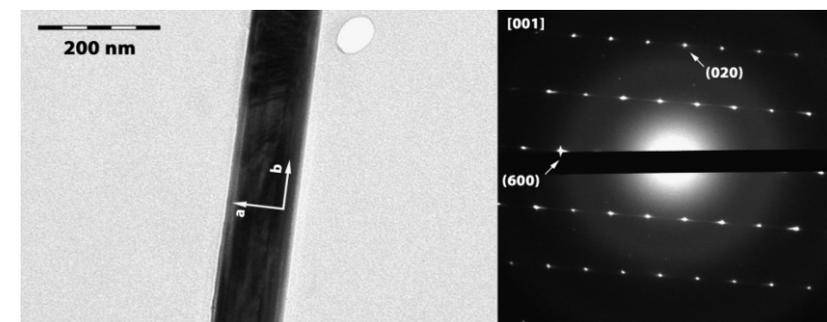


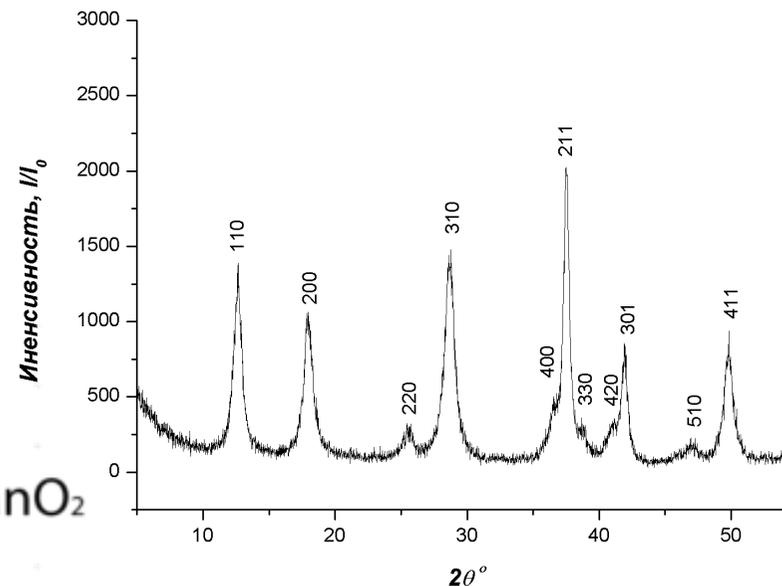
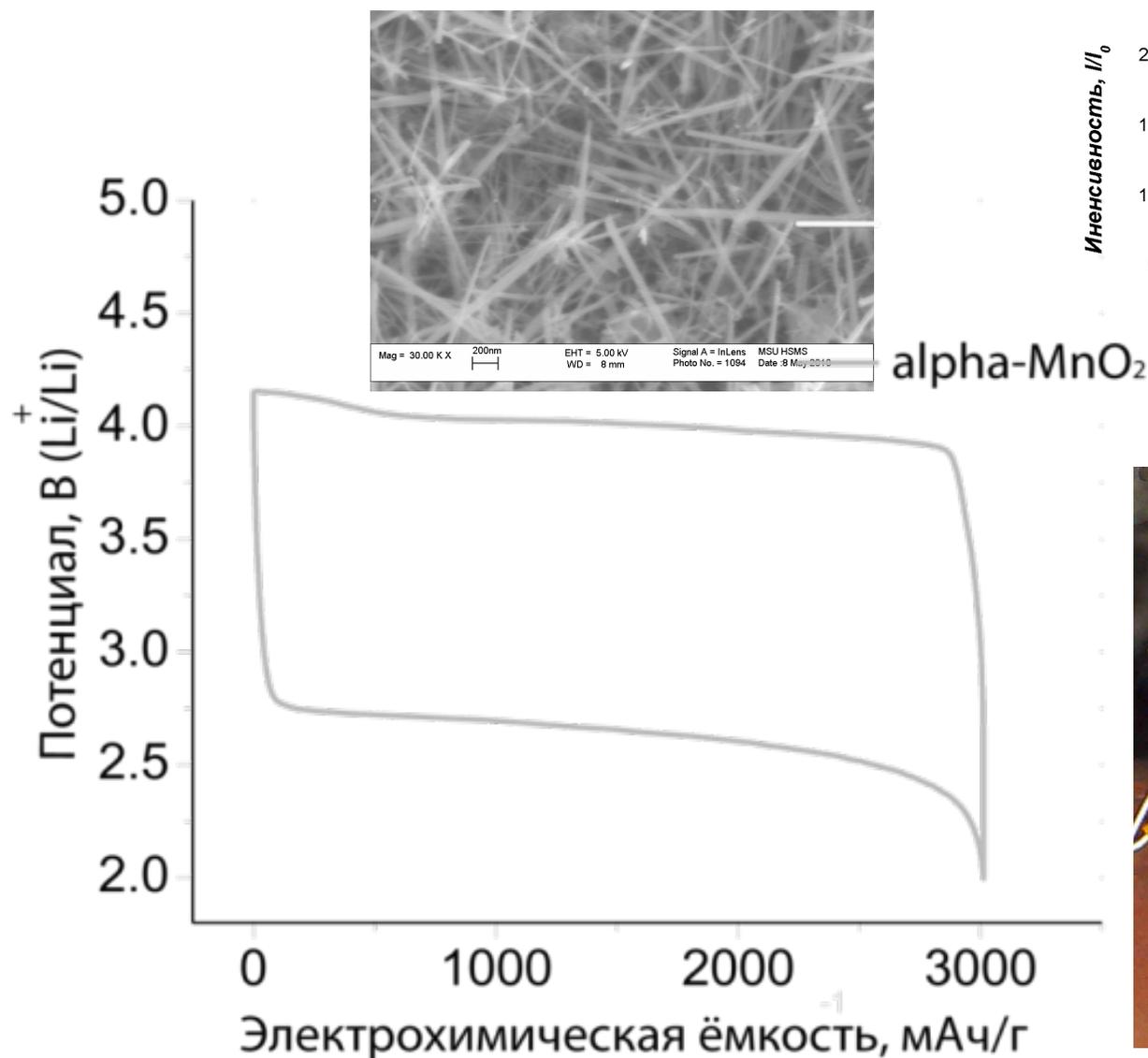
Fig. 8. Ribbon behaviour on dilution.

# Анизотропные НМ для ЛИЭП



- **Новые анизотропные наноструктурированные материалы на основе оксида ванадия для положительных электродов литий-ионных аккумуляторов, А.Я.КОЗЬМЕНКОВА, Д. А. СЕМЕНЕНКО, Д. М. ИТКИС, Т.Л. КУЛОВА, А. М. СКУНДИН, Е. А. ГУДИЛИН, Ю. Д. ТРЕТЬЯКОВ**

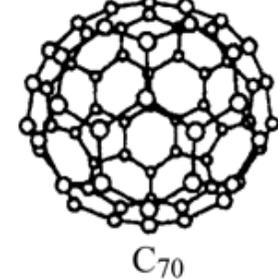
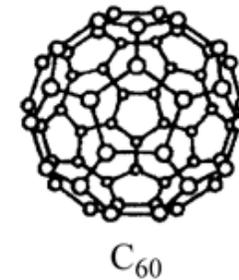
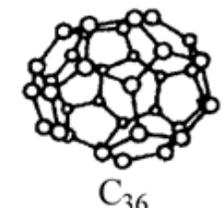
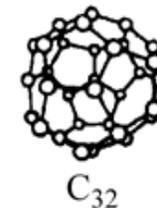
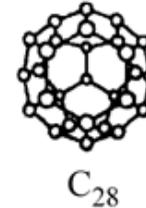
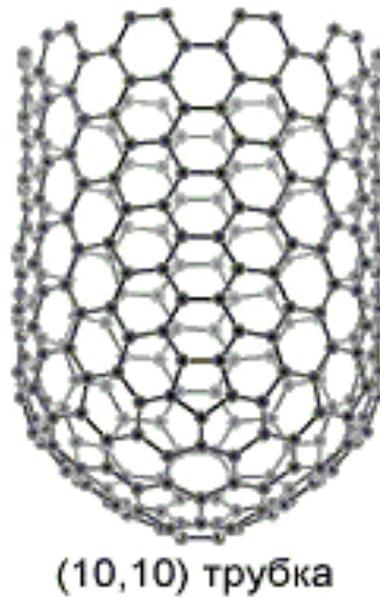
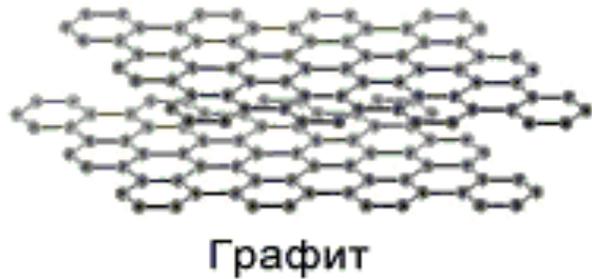
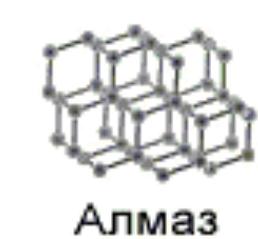
# ЛВЭП



- Удельная энергия выше в 5-20 раз
- Кислород неисчерпаемый и бесплатный
- Низкий вес источника
- Огромная ёмкость источника

- **Электродные материалы для литий-воздушных аккумуляторов.**  
Д.А. СЕМЕНЕНКО, А. И. БЕЛОВА, Т. К. ЗАХАРЧЕНКО, И. С. ЕЗЕПОВ,  
С. С. КУЗНЕЦОВ, Е. А. ГУДИЛИН, Ю. Д. ТРЕТЬЯКОВ

# Углеродные (нано)материалы



**Фуллерены**

**Модификации углерода**

# Применение наноматериалов

- Катализ, преобразование солнечной энергии ( $\text{TiO}_2$ )
- Сенсоры
- Химические источники тока и топливные ячейки
- Дисперсионное упрочнение/прочные материалы
- Магнитная томография (магнитные наночастицы - зонды), маркеры, носители лекарств
- Магнитные жидкости
- Запись, отображение информации, электроника
- Фотоника
- Квантовые точки
- Молекулярные сита / клатраты
- Аэрогели
- ... практически все на свете



НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!



<http://enanos.nanometer.ru>