

# **СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ**

- 1. Изменение свойств материалов при переходе к наноразмерам.**
- 2. Кратко о распространенных типах наночастиц и их применении.**
- 3. Факторы, обуславливающие потенциальную токсичность наночастиц.**
- 4. Пути проникновения наночастиц в организм, органы, ткани и клетки.**
- 5. Проблемы сертификации и оценки безопасности применения наноматериалов.**

# Прогресс в технологиях и новые риски



Дело рук человеческих



[www.herluf-bidstrup.ru](http://www.herluf-bidstrup.ru)

# ПРЕИМУЩЕСТВА И РИСКИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

## Ожидаемые выгоды от использования нанотехнологий:

- Новые методы диагностики и лечения заболеваний, новые лекарства
- Улучшение состояния окружающей среды за счет снижения материалоемкости изделий
- Создание компактных и мощных источников электрической энергии
- Революционные преобразования в компьютерной индустрии
- Расширение возможностей человеческого организма
- Улучшение защищенности граждан от неблагоприятных воздействий и т.д.

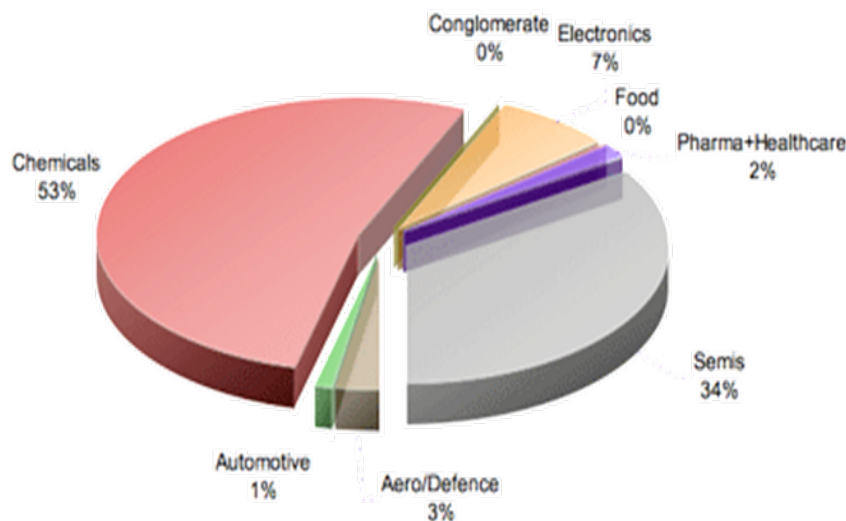
## Ожидаемые риски от использования нанотехнологий:

- Проблемы с влиянием наноматериалов на здоровье
- Новые проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды
- Появление искусственной жизни с непонятными последствиями
- Увеличение рисков от терроризма
- Усиление гонки вооружений
- Безработица
- Увеличение риска вмешательств в личную жизнь



**В настоящее время производится порядка 2000 наноматериалов  
За 10 лет использования ни один вид наноматериалов не был  
изучен в полном объеме на безопасность.**

The Nanotechnology Market in 2007



**NANOTECHNOLOGY RISKS – THE REAL ISSUES**

It's not easy to find the time to read the latest journal articles on nanotechnology risks. The journal really has written people into about the risks of nanotechnology. This journal is not about stopping nanotechnology or making people. It is about providing a reality of what is out there and the need of exchanging results, networking, coordination, standardization, identifying risks, assessing and managing them. It is about providing a reality of what is out there and the need of exchanging results, networking, coordination, standardization, identifying risks, assessing and managing them. It is about providing a reality of what is out there and the need of exchanging results, networking, coordination, standardization, identifying risks, assessing and managing them.

WELCOME TO THE FIRST ISSUE OF nanoRISK  
Why a worldwide effort "nanoRISK" for the environment? Yes, and we will talk about after nanotech and any other. Much of nanotechnology today is about producing nanomaterials products that, due to their size, have significantly more surface area than the equal mass of the same material in macro form. This revolution is not about stopping nanotechnology or making people. It is about providing a reality of what is out there and the need of exchanging results, networking, coordination, standardization, identifying risks, assessing and managing them. It is about providing a reality of what is out there and the need of exchanging results, networking, coordination, standardization, identifying risks, assessing and managing them.

**Индустрия нанотехнологий**

**Только в 2004 году мировые инвестиции в сферу разработки нанотехнологий достигли \$10 млрд. На долю частных доноров — корпораций и фондов — пришлось примерно \$6.6 млрд. инвестиций, на долю государственных структур — около \$3.3 млрд. Мировыми лидерами по общему объему капиталовложений в этой сфере стали Япония и США.**

# Death by nanoparticles



Online Journal, Vol 1, Oct, 2006

**NanoPharmaceuticals Online Journal, Vol 1, Oct, 2006**

## Death by Nanoparticles

**By**

Dusica Maysinger\*

Maik Behrendt and

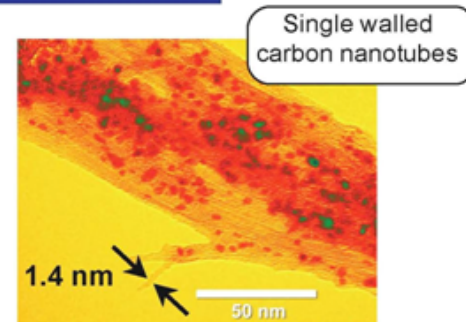
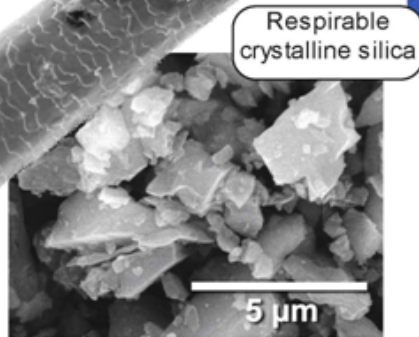
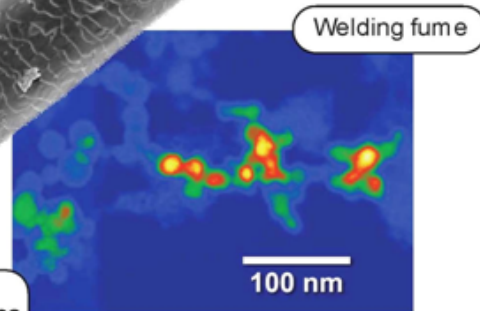
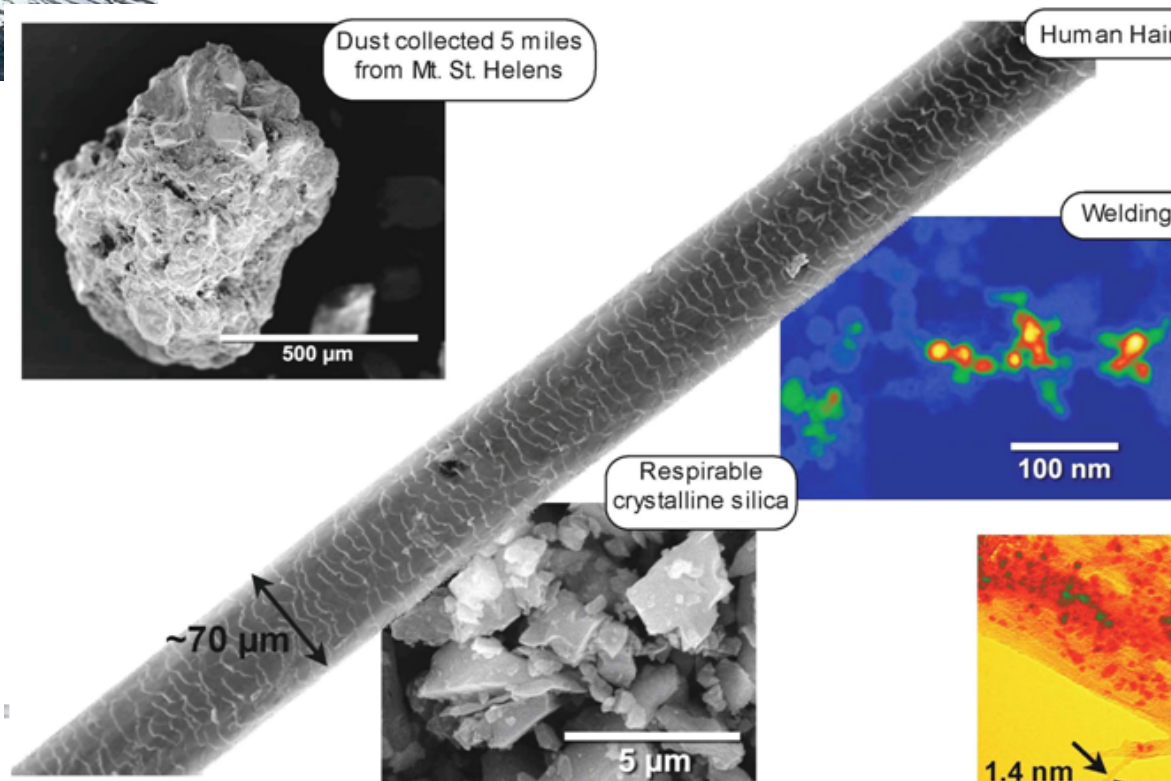
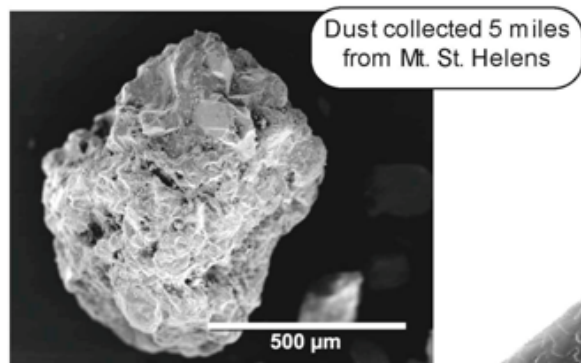
Ewa Przybytkowski

Department of Pharmacology and Therapeutics, McGill University, Montreal, Canada

Received on 22<sup>nd</sup> Sept 2006, Published on line on 1st Oct 2006

1. [Abstract](#)
2. [Introduction](#)
3. [Nanoparticles](#)
  - 3.1. [Nanoparticles containing metals](#)
  - 3.2. [Fluorescent nanoparticles and nanoparticles containing drugs](#)
4. [Cell death induced by nanoparticles](#)
  - 4.1. [Nanoparticle properties and interactions with cells](#)
  - 4.2. [Types of cell death and roles of individual organelles](#)
5. [Mechanisms involved in nanoparticle-induced cell death](#)

# Микро- и нанообъекты вокруг нас



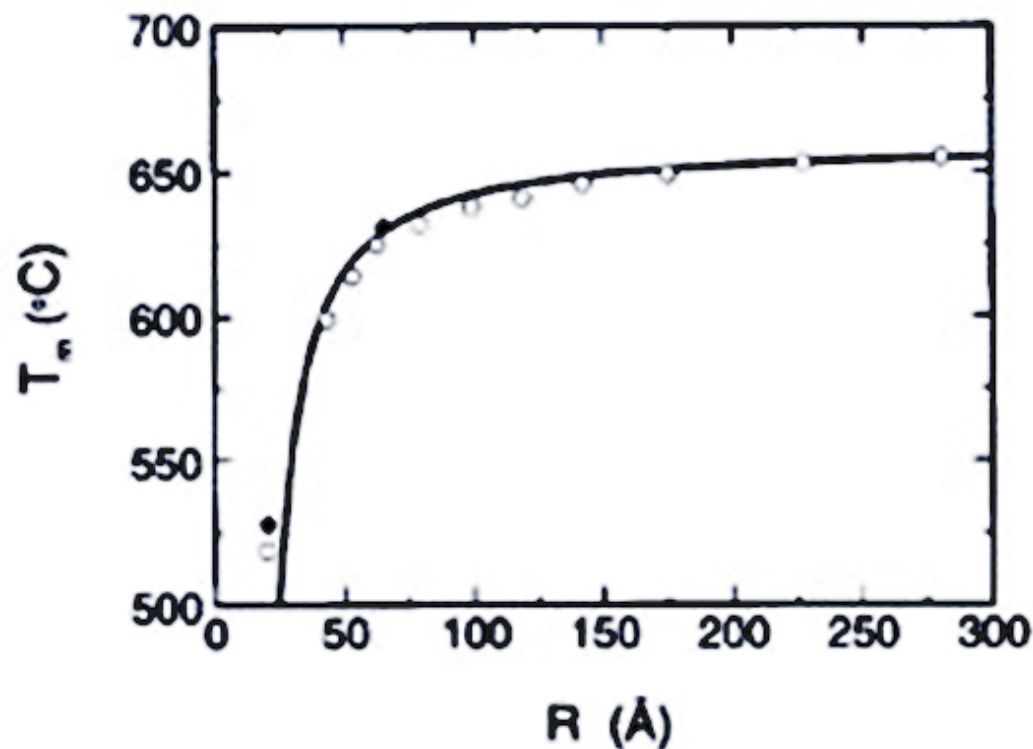
## При переходе к наноразмерам происходит гигантский рост отношения числа частиц и суммарной площади их поверхности к массе

В 1 мг ( $10^{-3}$  г) вещества (плотности 1г/куб.см) в зависимости от размера содержится число частиц (*для справки – число клеток в организме человека  $\sim 10^{14}$* ):

Диаметр частиц (нм)	Число частиц	Суммарная площадь частиц (кв.см)
2	$\sim 10^{17}$	$\sim 3 \cdot 10^4$
20	$\sim 10^{14}$	$\sim 3 \cdot 10^3$
200	$\sim 10^{11}$	$\sim 3 \cdot 10^2$
2000 (2мкм)	$\sim 10^9$	$\sim 30$



# Свойства наночастиц зависят от размера



Зависимость температуры плавления алюминия  $T_m$  от радиуса наночастиц  $R$  (в ангстремах).

*Lai et al. (Applied Physics Letters, 1998, v. 72:1098-1100).*

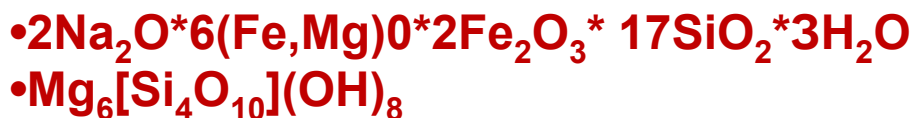
# История 1.

# Асбест

# История 1. Асбест.

Что такое асбест? Два типа асбеста.

**Хризотил-асбест:**



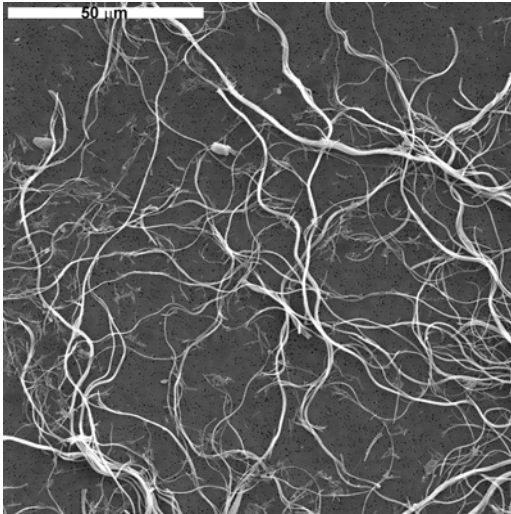
**Амфибол**

Голубой асбест	$(\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Амозит	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Тремолит	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Антофиллит	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Актинолит	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

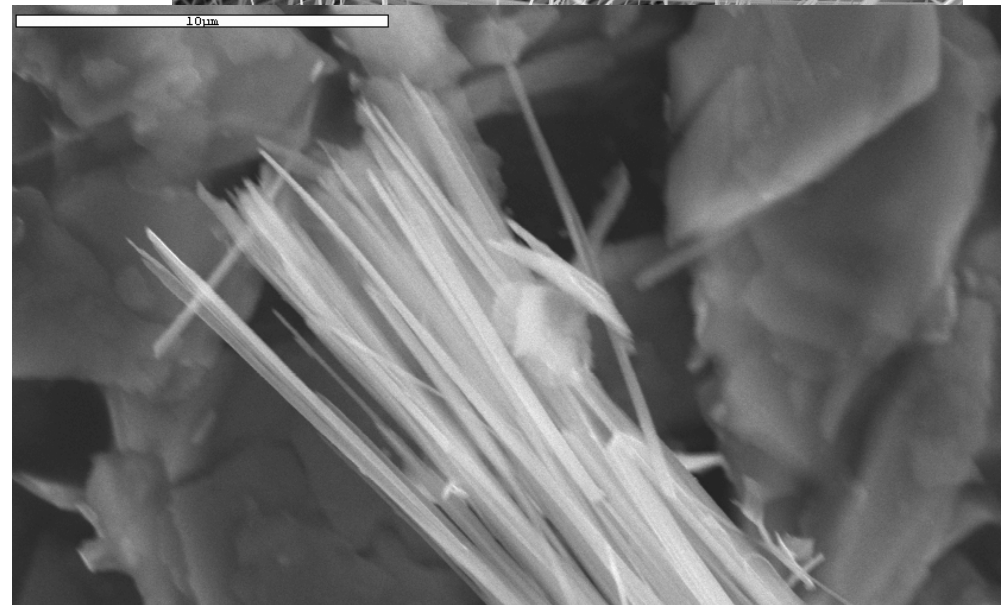
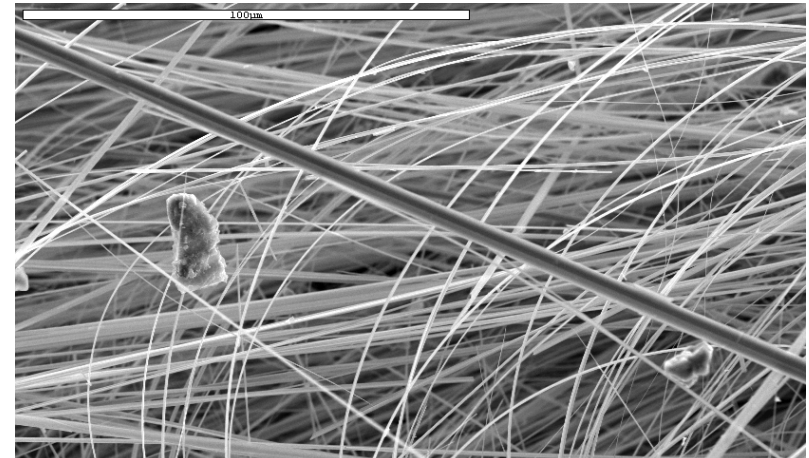


# Нанофибриллы асбеста

## Хризотил-асбест:



## Амфиболы



Асбестовые волокна внутри  
пустые: их внутренний диаметр  
равен 13 нм при внешнем 26 нм.  
**Асбестовые волокна являются  
типичным наноматериалом.**

# Уроки асбеста

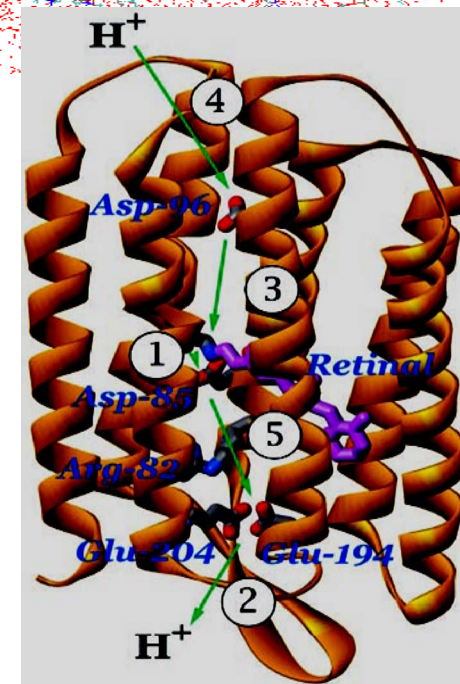
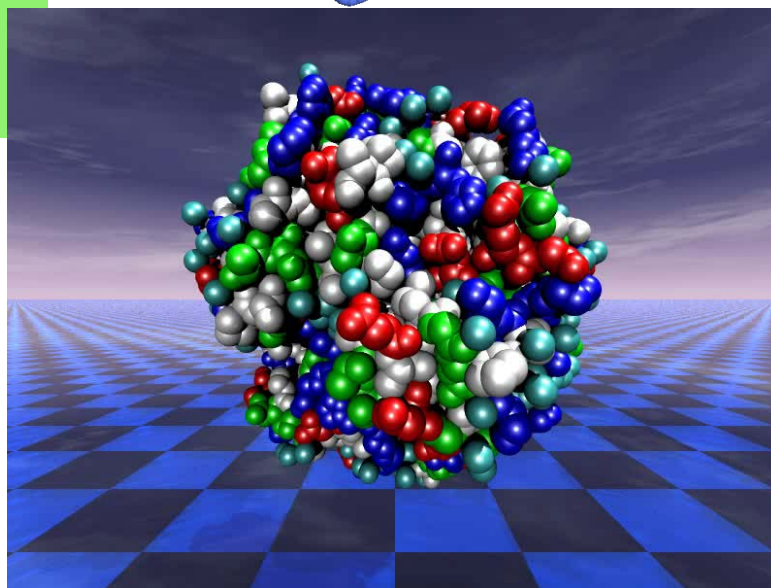
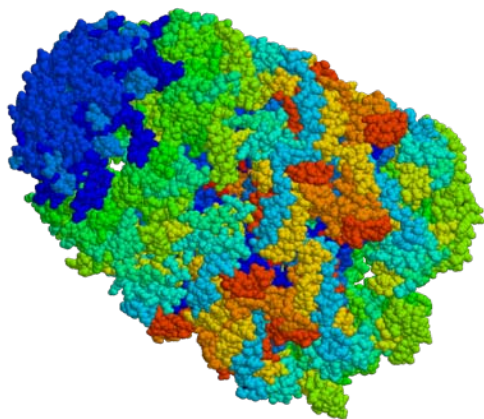
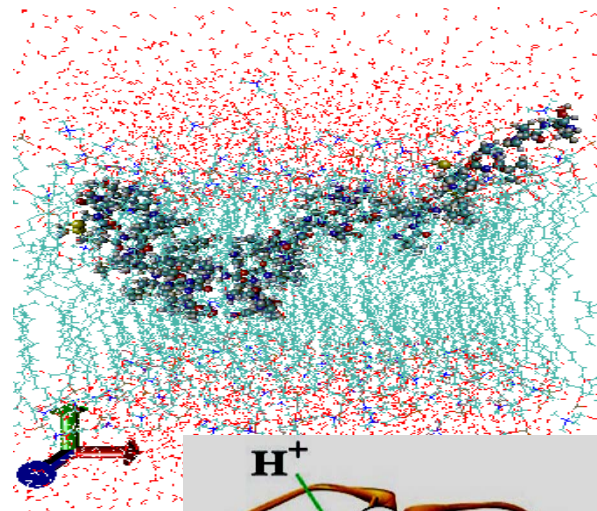
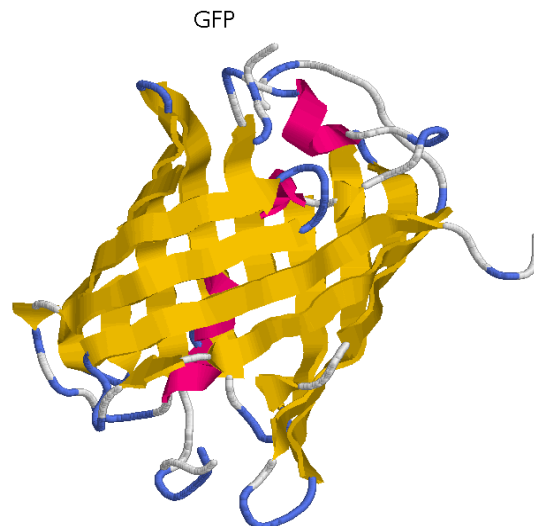
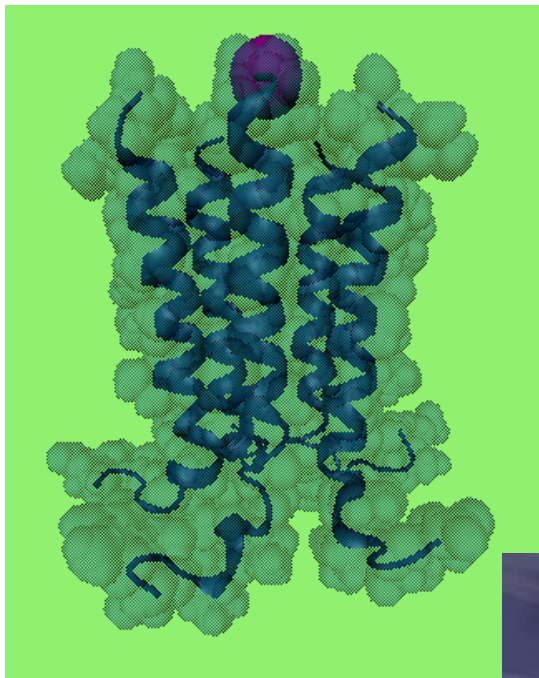
- 1898 – Инспектор английской фабрики Л.Дин предупредил о вредном воздействии асбеста
- 1906 – Французская текстильная фабрика сообщила о 50 смертных случаях среди работниц, работавших с асбестовым волокном и о необходимости контроля
- 1911 – в экспериментах на крысах показано, что опасения по поводу вредного воздействия асбеста не беспочвенны
- 1911,1917,1918 – Английские промышленники нашли недостаточными доказательства вредного действия асбеста, страховые компании США отклонили иски рабочих
- 1930,1931 – обнаружено, что 66% рабочих на Рочдельской фабрике (Англия) страдают от последствий контакта с асбестом, в Англии установлен контроль за содержанием асбестовой пыли на фабриках и компенсации рабочим
- 1935-49 – многочисленные случаи рака легких зафиксированы у рабочих, имевших контакт с асбестом
- 1955 – Долл установил взаимосвязь между риском развития раком легких и контактом с асбестом у рабочих Рочдельской фабрики
- 1959-64 – обнаружены случаи рака плевры у рабочих и населения, имевших контакт с асбестом в Англии, США, ЮАР и др.
- 1982-89 – в Англии благодаря компании прессы и профсоюзов усилен контроль за асбестом, его производителями и пользователями и стимулировано внедрение заменителей асбеста
- 1998-99 – Евросоюз и Франция наложили запрет на использование всех форм асбеста
- 2000-01 – ВТО поддержала запрет Евросоюза



# **Мир биомакромолекул – часть наномира**

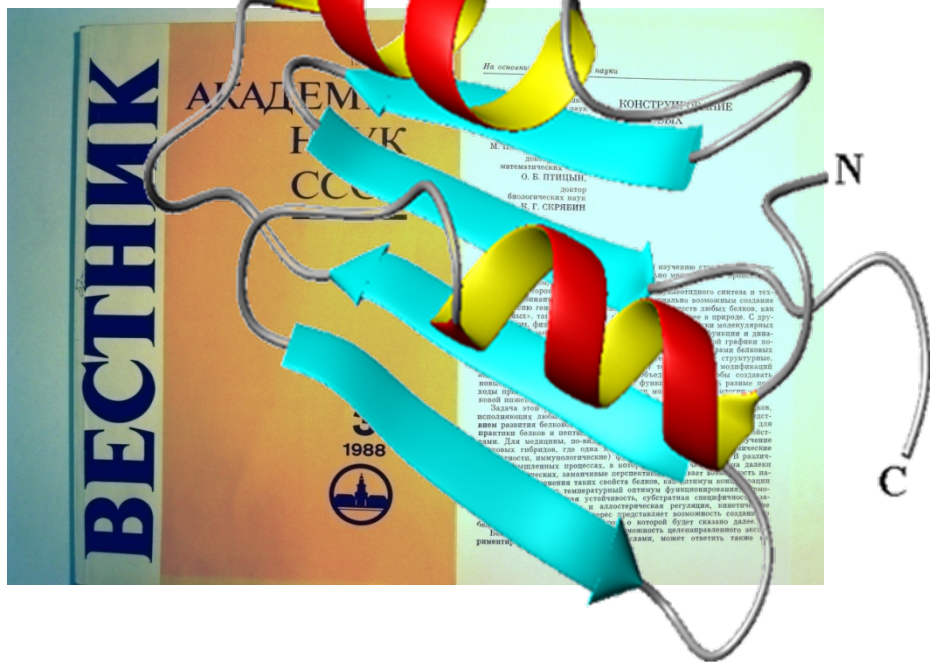
# Биологические наночастицы и наноматериалы

## Мир биомакромолекул – часть наномира



# КОНСТРУИРОВАНИЕ БЕЛКОВ *de novo*

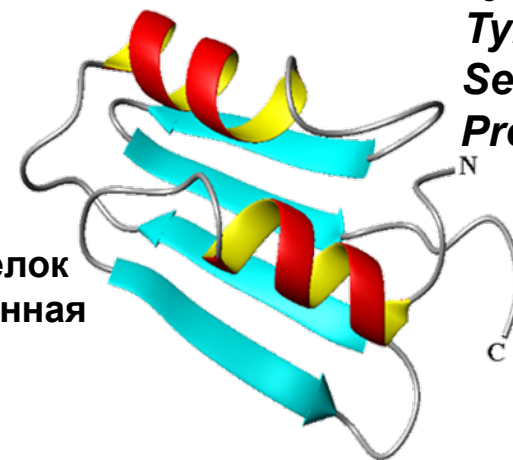
Искусственный белок  
альбебетин – заданная  
структура



A. Finkelstein,  
M. Kirpichnikov, D. Dolgih,  
O. Pticyn, et al. 1991

Met  
Leu  
Lys  
Glu  
Lys  
Tyr  
Ser  
Pro

Искусственный белок  
альбеферон – заданная  
функция



Перспективные направления:

1. Создание набора «белкового конструктора» для построения белков с заданной архитектурой (*трехмерной структурой*).
2. «Прививка» активного центра одного белка к другому белку



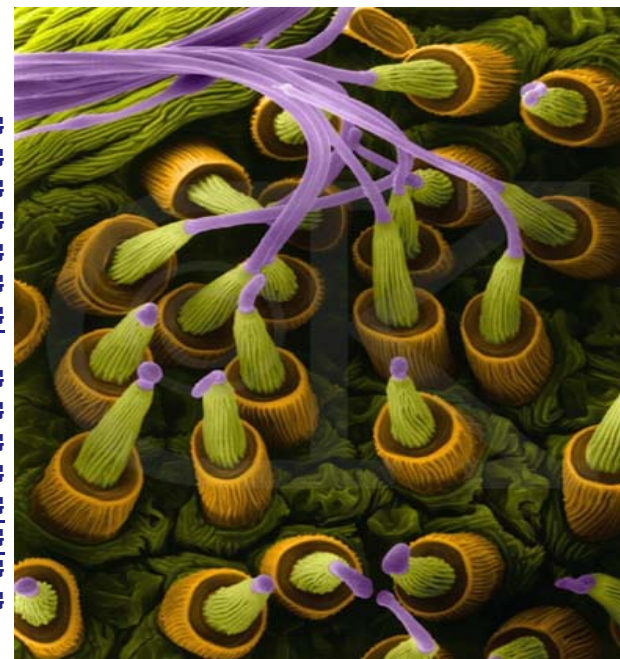
# Белки паутины (спидроины)

Материал	Упругость (GPa)	Предел прочности на разрыв (GPa)	Эластичность (%)	Энергия разрыва (MJ/m <sup>3</sup> )
Каркасная нить паука рода <i>Araneus</i>	10	1.1	27	160
Сталь	200	1,5	0,8	6



Spider *Araneus diadematus*

QGAGAAAAAA-GGAGQGGYGGLGGQG  
 AGQGGYGGLGGQG  
 AGQGAGAAAAAAGGAGQGGYGGLGSQG  
 AGR---GGQGAGAAAAAA-GGAGQGGYGGLGSQG  
 AGRGGLGGQGAGAAAAAAGGAGQGGYGGLGNQG  
 AGR---GQ--GAAAAAA-GGAGQGGYGGLGSQG  
 AGRGGLGGQGAGAAAAAA-GGAGQGGYGGLGGQG  
 AGQGGYGGLGSQG  
 AGRGGLGGQGAGAAAAAAGGAGQ----GLGGQG  
 AGQGAGASAAAA-GGAGQGGYGGLGSQG  
 AGR---GGEGAGAAAAAA-GGAGQGGYGGLGGQG  
 AGQGGYGGLGSQG  
 AGRGGLGGQGAGAAAA---GGAGQ---GGLGGQG  
 AGQGAGAAAAAA-GGAGQGGYGGLGSQG  
 AGRGGLGGQGAGAVAAAAAAGGAGQGGYGGLGSQG  
 AGR---GGQGAGAAAAAA-GGAGQRYGGLGNQG  
 AGRGGLGGQGAGAAAAAAGGAGQGGYGGLGNQG  
 AGR---GGQ--GAAAA--GGAGQGGYGGLGSQG



# История 2

## Прионы



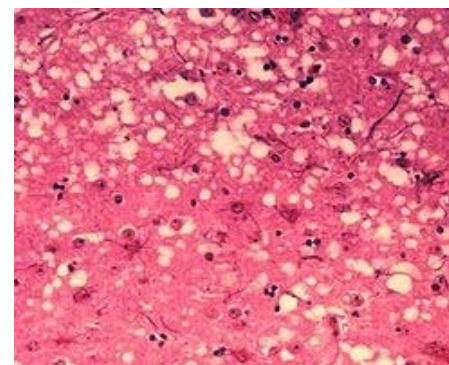
# История 2. Прионы.



Трёхмерные структуры С-концевых участков белков PrP<sup>C</sup> (слева) и PrP<sup>Sc</sup>. Фиолетовым цветом окрашены альфа-спирали, зелёным — бета тяжи.

**Заражение могут вызвать примерно 100 000 молекул, которые в большинстве случаев образуют большие скопления.**

*Stanley B. Prusiner*, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1997 г. добавил прионы в список хорошо известных инфекционных агентов, таких как бактерии, вирусы, грибы и паразиты.

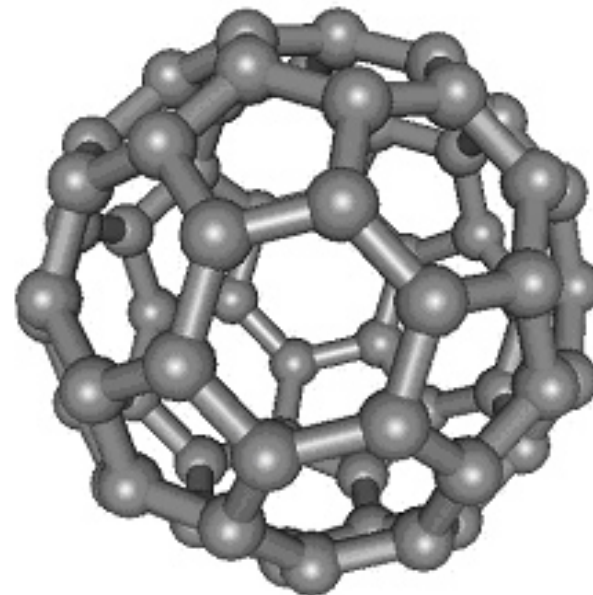


Гистологический препарат, поражение ткани прионами с образованием характерной губчатой структуры.

# **Распространенные типы наночастиц и их применение**

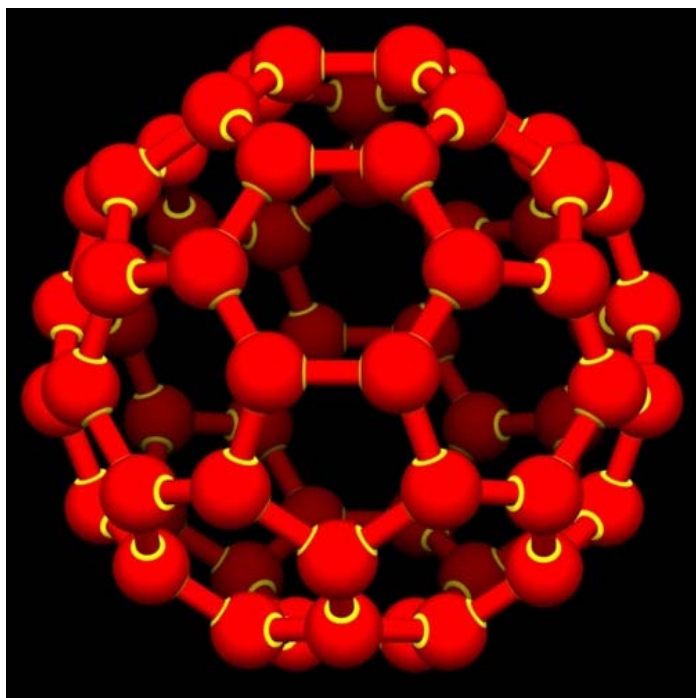
# Объем производства наночастиц

- ❖ Фуллерены  $C_{60}$  – 500 тонн/год
- ❖ Одностенные и многостенные углеродные нанотрубки  
100 тонн/год
- ❖ Наночастицы кремния  
и диоксида кремния  
100 000 тонн/год
- ❖ Наночастицы оксида цинка – 20 тонн/год
- ❖ Наночастицы диоксида титана – 5000 тонн/год
- ❖ Наночастицы серебра 500 – тонн/год

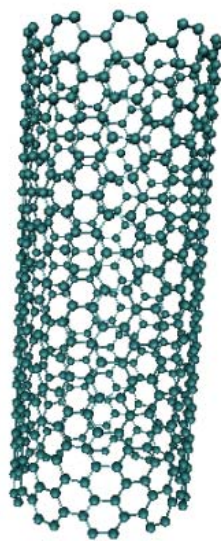


**Развитие нанотехнологий резко расширяет спектр используемых наночастиц по химическому составу, размеру, форме, функциональному назначению**

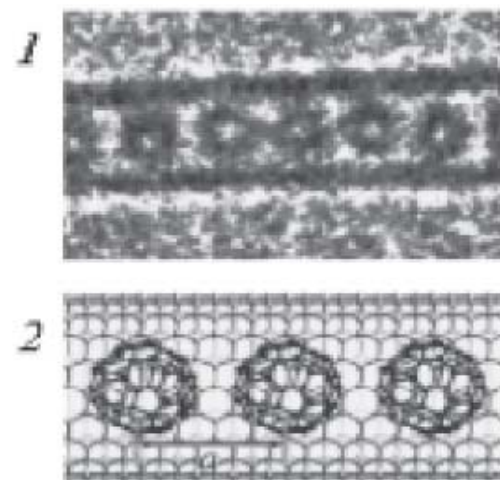
**Фуллерены (C<sub>60</sub> и др.), нанотрубки, пиподы, графен и др.**



**1985**



**1991**

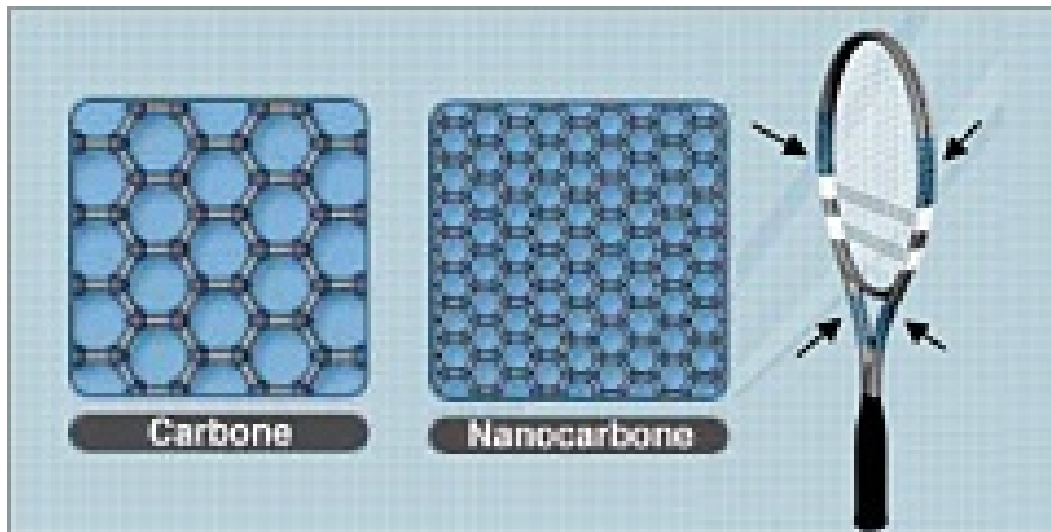


**1**  
Микрофотография пипода C<sub>60</sub>@НТ  
(1) и его структурная модель (2)

**1998**

# Углеродные нанотрубки

- ❖ УНТ в электронике
- ❖ УНТ для снятия электростатических зарядов (Hyperion Catalyst, Кембридж, США)
- ❖ УНТ в составе графитовых анодов в литий-ионных аккумуляторах



- ❖ УНТ в теннисных ракетках

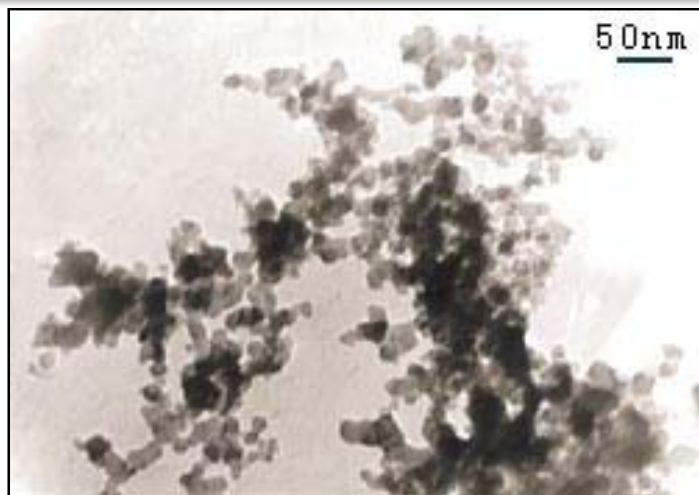


# Применение наночастиц SiO<sub>2</sub>

- ❖ **Электроника (создание диэлектрических слоев);**
- ❖ **теплоизоляция, электроизоляция;**
- ❖ **производство покрытий оптических волокон;**
- ❖ **компонент для получения термостойких красок, лаков, шпаклевок;**
- ❖ **пожаротушение; высокотемпературные клеи, тигли, огнеупоры, сорбенты, пеногасители и т.п.;**
- ❖ **наполнители в силикон, резину, каучуки, краски, полимеры, бетоны, герметики, клеи, загустители;**
- ❖ **водоотталкивающие покрытия;**
- ❖ **производство быстро сохнущей бумаги для фотопечати.**

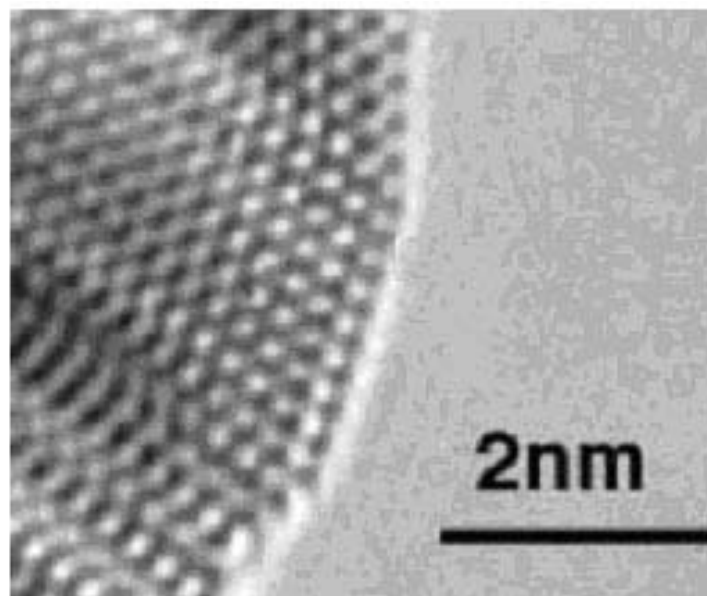
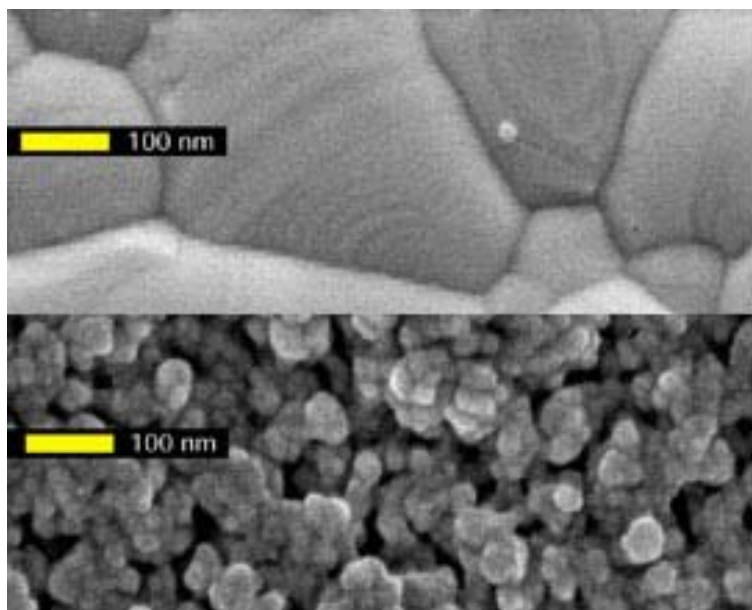
# Наночастицы ZnO и TiO<sub>2</sub>

- ❖ Антисептики в зубной пасте, косметике, краске, пластике и текстиле
- ❖ Солнцезащитные крема. Из 1200 кремов 228 содержат оксид цинка, 363 содержат диоксид титана и 73 содержат оба этих элемента. При этом в 70% кремов, содержащих диоксид титана, и в 30% кремов, содержащих оксид цинка, эти элементы находились в форме наночастиц.



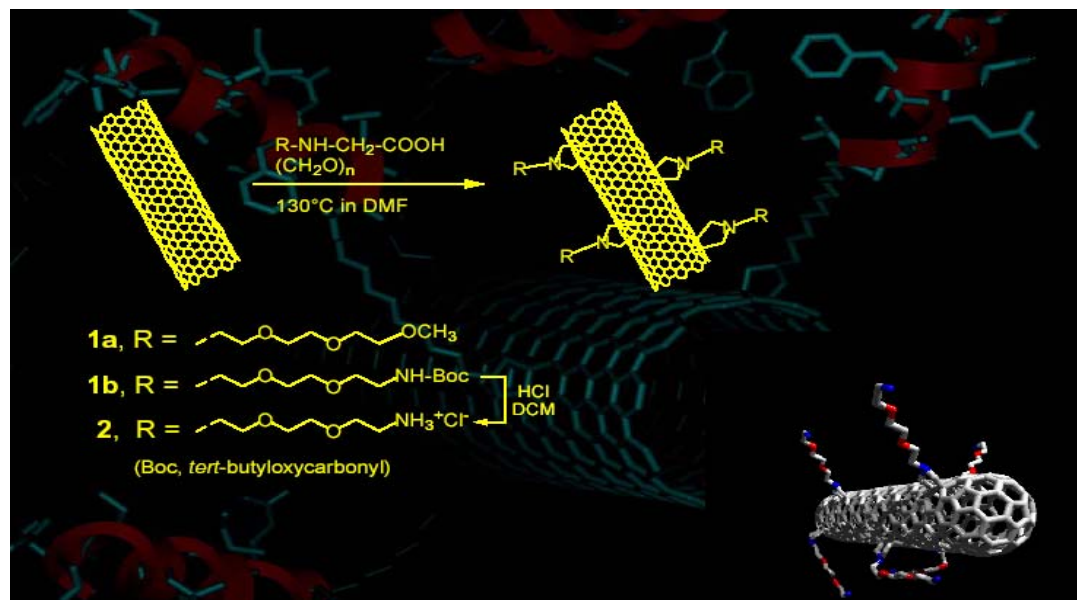
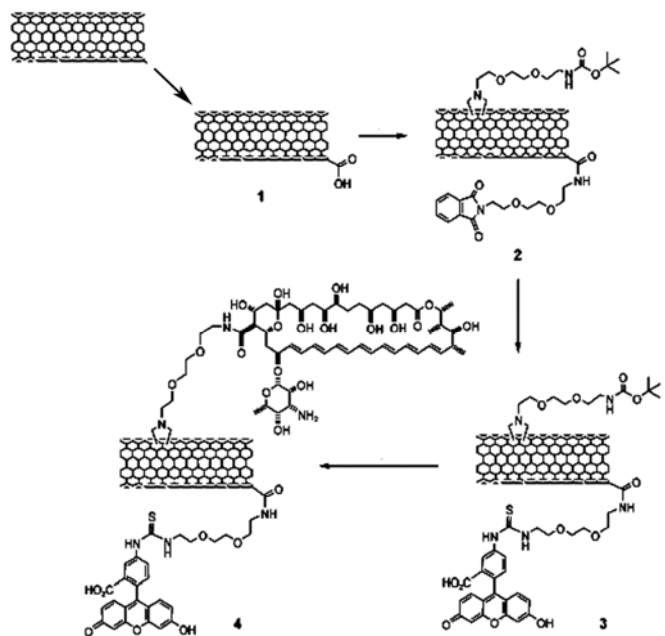
# Наночастицы серебра

- ❖ Серебро как естественный антибиотик
- ❖ антимикробная стерилизация
- ❖ спектрально-селективные покрытия для поглощения солнечной энергии
- ❖ катализаторы химических реакций



# Функционализованные наночастицы.

Доставка антибиотиков через гематоэнцефалический барьер с использованием модифицированных углеродных нанотрубок



# Наночастицы – новые векторы для адресной доставки лекарств (объем рынка уже 3,4 млрд.долл.)

функционализированная наночастица-носитель

доставляемый агент

лекарственное вещество,  
ДНК, олигонуклеотиды,  
«пептидно-нуклеиновые»  
кислоты

«молекулярный адрес»

иммуноглобулины, аптамеры,  
лиганды к клеточным  
рецепторам

полимер для стерической  
защиты

- увеличение биодоступности веществ, плохо растворимых в физиологических средах организма
- пролонгированное действие за счет постепенного высвобождения целевого агента из носителя
- защита целевого агента от ферментативной деструкции в крови и тканях



# Накопление в окружающей среде разных типов НЧ, используемых в различных изделиях

Отрасль/ применение	Тип наноматериала	Возможные пути воздействия					
		Воздух	Поверхностные воды	Грунтовые воды	Сточные воды	Почва	Отходы
Продукты косметики, средства личной гигиены	TiO <sub>2</sub> , ZnO, фуллерен (C <sub>60</sub> ), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ag	-	V	-	V	-	-
Катализаторы, смазки и присадки к топливу	CeO <sub>2</sub> , Pt, MoS <sub>3</sub>	V	V	-	V	-	-
Краски и покрытия	TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , Ag, квантовые точки	V	V	-	V	-	-
Обработка воды и восстановление окружающей среды	Fe, Fe-Pd, полиуретан	-	V	V	V	V	-
Агрохимические препараты	SiO <sub>2</sub> (пористый) в качестве носителя	V	V	-	-	V	-
Пищевая упаковка	Ag, наноглина, TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	V	V
Фармацевтические препараты	Нанопрепараты и наполнители	-	-	V	V	V	-

# **Факторы потенциальной токсичности наночастиц**

# Факторы потенциальной нанотоксичности

*Большая удельная поверхность наноматериалов.*

*Увеличение химического потенциала веществ на межфазной границе высокой кривизны.*

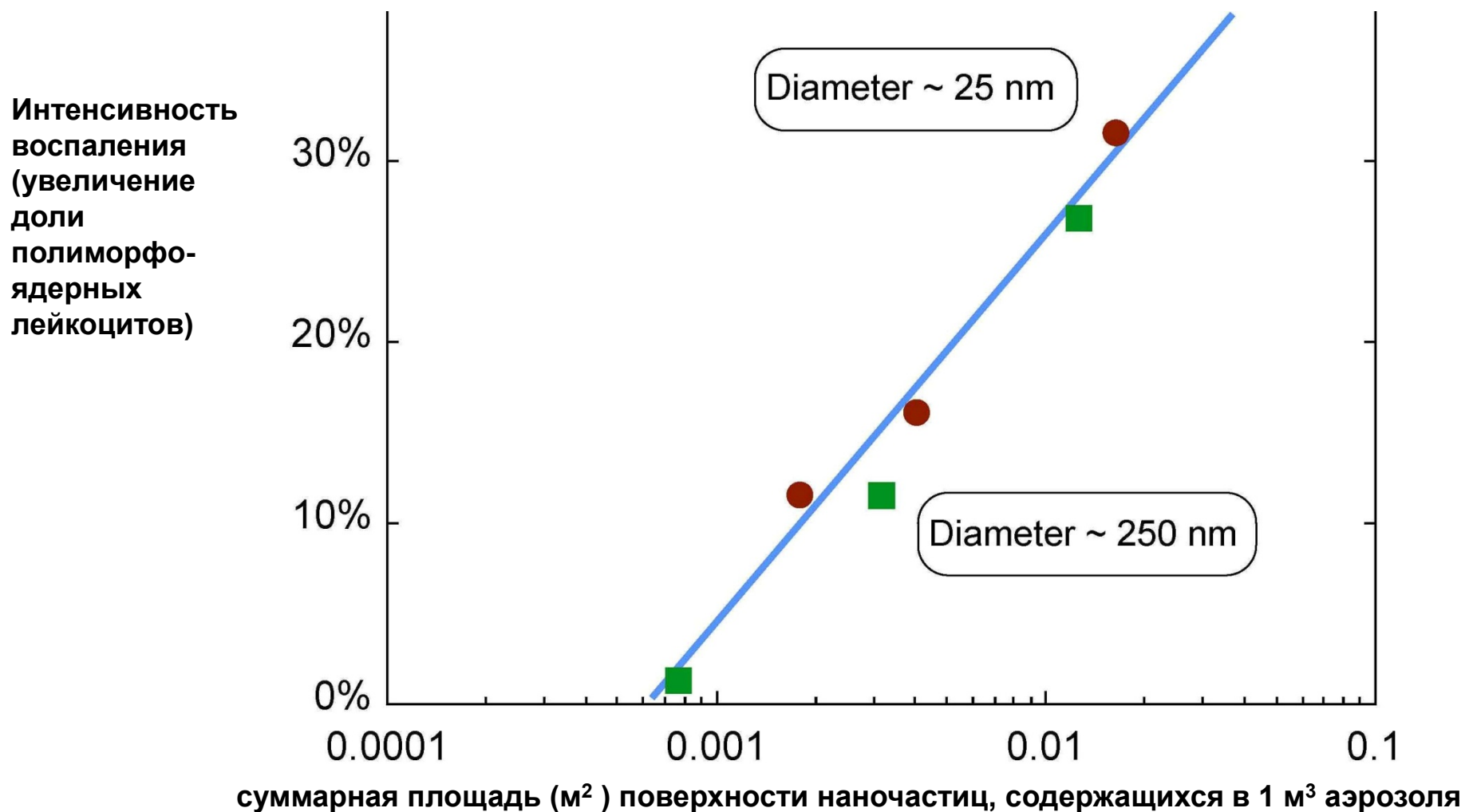
**Очень высокая удельная поверхность наноматериалов увеличивает их адсорбционную емкость, химическую реакционную способность и каталитические свойства.**

**Это может приводить, в частности, к увеличению продукции свободных радикалов и активных форм кислорода, и далее к повреждению биологических структур (липиды, белки, нуклеиновые кислоты, в частности, ДНК).**

**Существенно изменяется растворимость, реакционная и каталитическая способность наночастиц и их компонентов.**

**Эти эффекты могут быть использованы для создания биологически активных препаратов нового поколения, но они же и несут и потенциальные риски.**

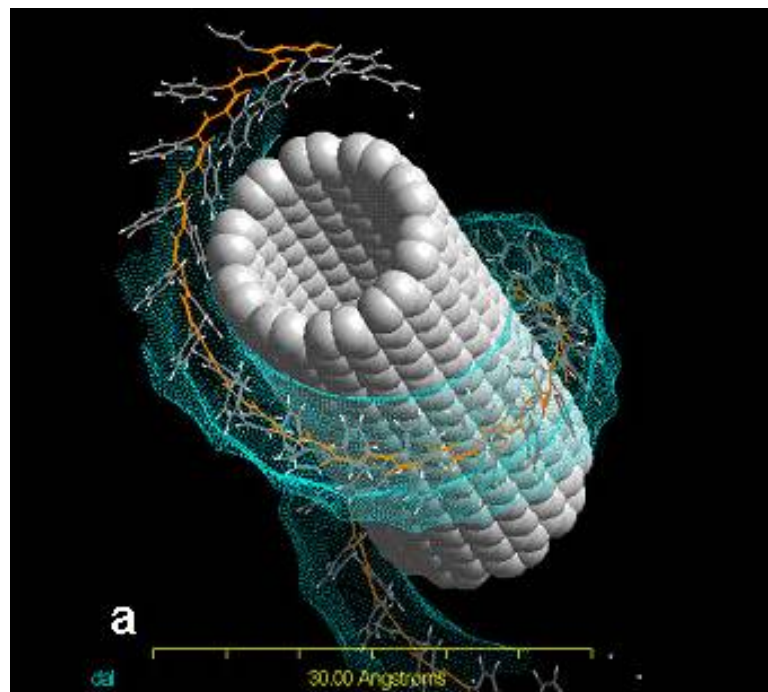
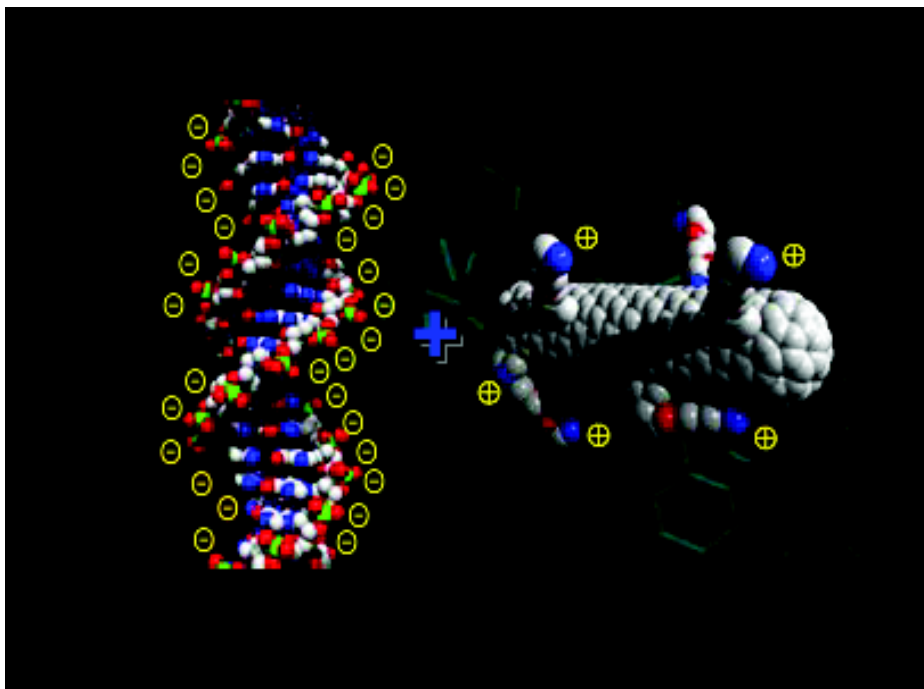
**Влияние размера наночастиц  $\text{TiO}_2$  на интенсивность воспалительного процесса у крыс. Эффект пропорционален не массе, а суммарной активной площади частиц, содержащихся в единице объема аэрозоля.**



# Факторы потенциальной нанотоксичности

*Небольшие размеры и разнообразие форм наночастиц.*

Наночастицы, вследствие своих небольших размеров, могут связываться с нуклеиновыми кислотами (вызывая, например, образование аддуктов ДНК, что, в свою очередь, может быть использовано для целей метаболической и генной инженерии, но и несет в себе риски изменения экспрессии генов, мутагенного и канцерогенного эффектов.





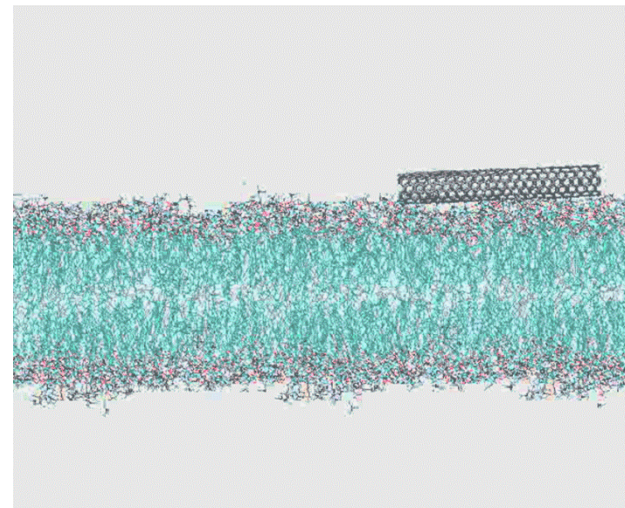
# Факторы потенциальной нанотоксичности

*Высокая адсорбционная и проникающая активность.*

Из-за высокоразвитой поверхности наночастицы обладают свойствами высокоэффективных адсорбентов.

Это делает наноматериалы потенциально полезными для удаления вредных продуктов. Однако, возможна и адсорбция на наночастицах различных контаминантов и облегчение их транспорта внутрь клетки, что резко увеличивает токсичность последних.

Многие наноматериалы обладают гидрофобными свойствами или являются электрически заряженными, что усиливает как процессы адсорбции на них различных токсикантов, так и их проникающую способность



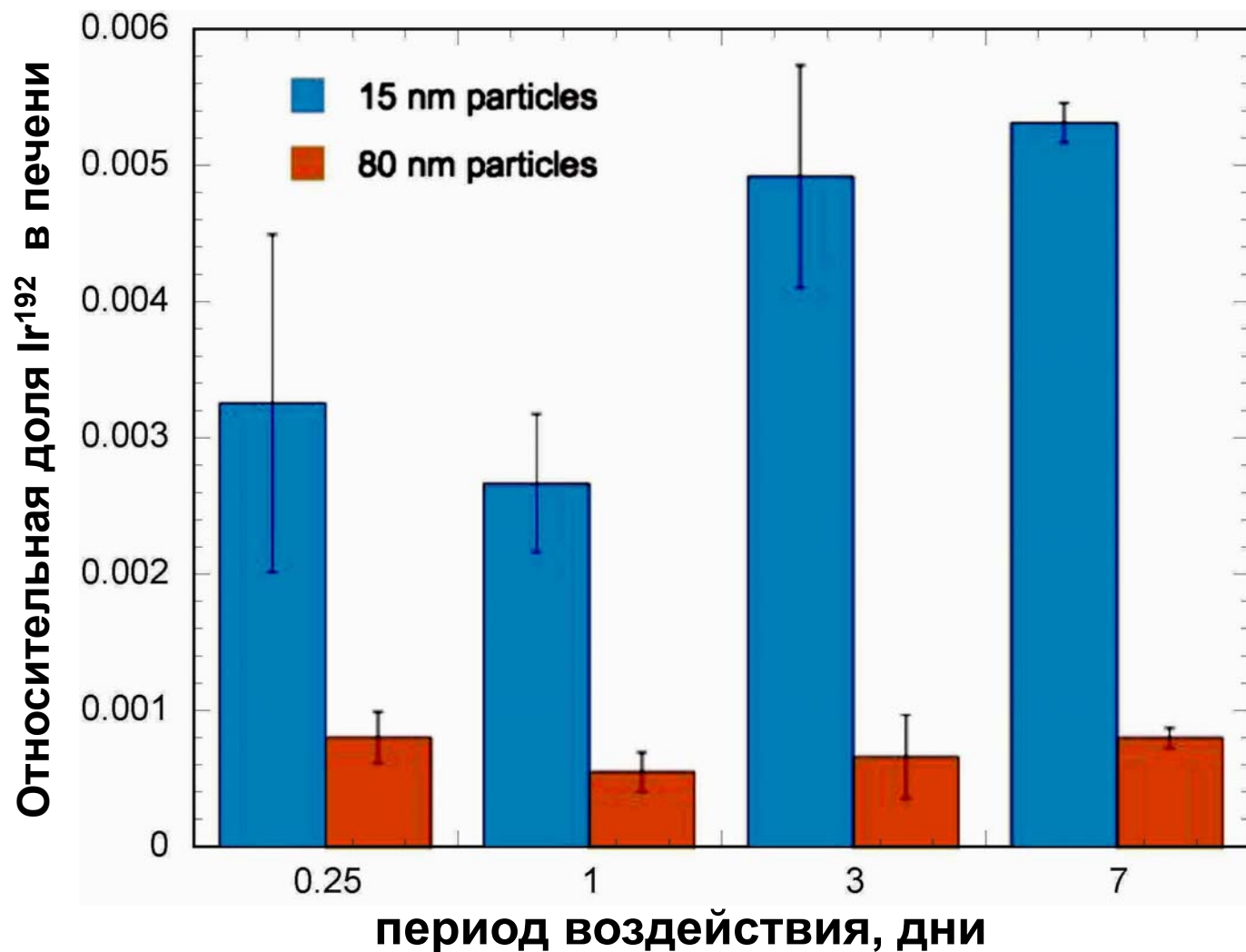
# Факторы потенциальной нанотоксичности

*Высокая способность к накоплению в организме.*

Из-за малого размера многие наночастицы не распознаются защитными системами организма, не подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма.

Макрофаги «не видят» размеры  $< 70\text{нм}$   
Это ведет к накоплению наноматериалов в растительных, животных организмах, а также микроорганизмах, передаче по пищевой цепи, что, тем самым, увеличивает их поступление в организм человека.

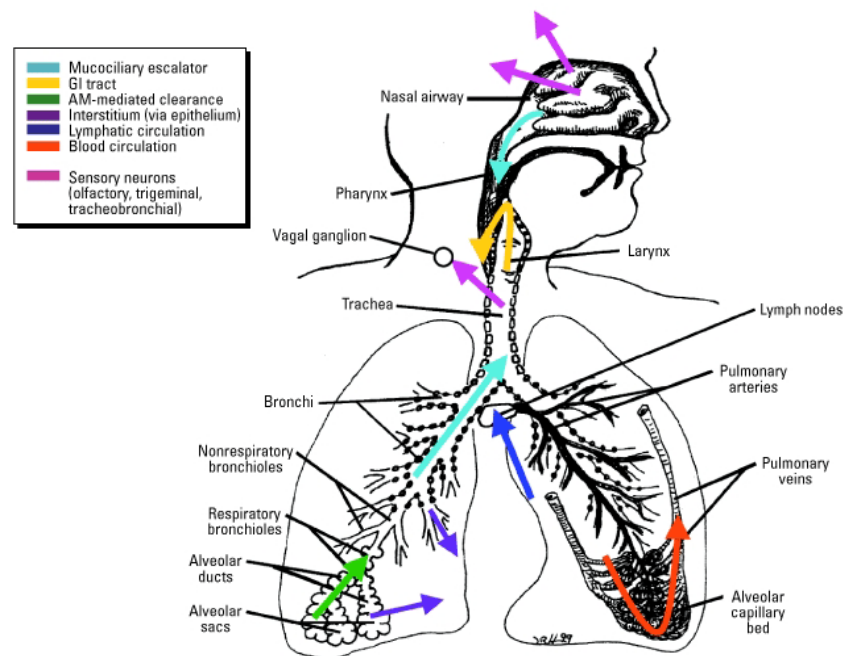
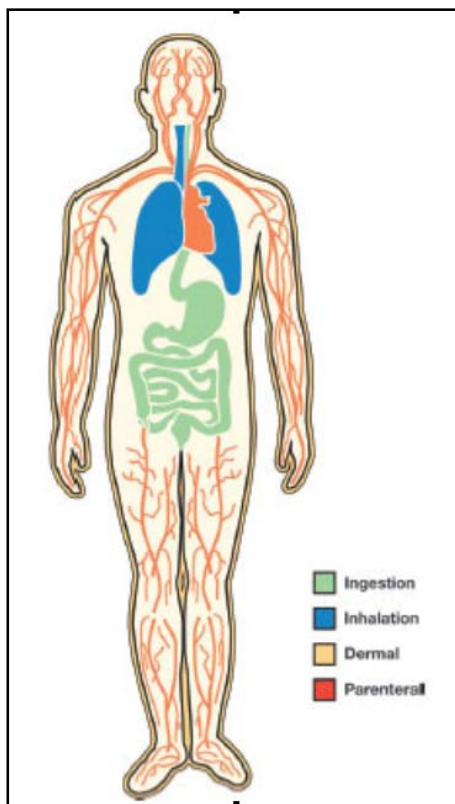
# Накопление нерастворимых наночастиц Ir<sup>192</sup> в печени крыс в результате ингаляции.



# **Пути проникновения наночастиц в организм**

# Пути проникновения наночастиц в организм

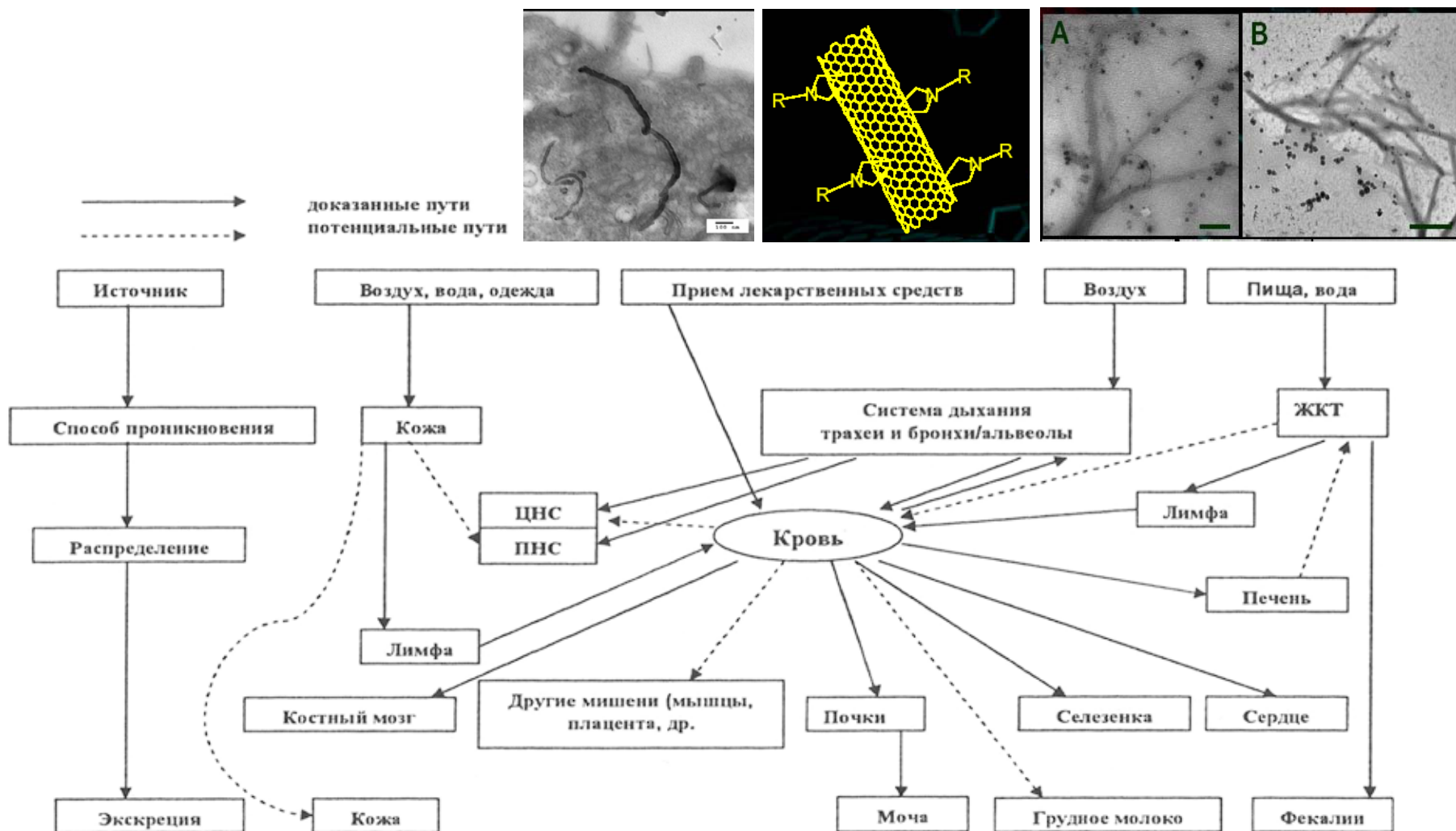
Основные возможные пути попадания окружающих наночастиц в человеческий организм – это желудочно-кишечный тракт, кожа и дыхательные пути.



Пути миграции частиц внутрь и из респираторного тракта (по Gunter Oberdorster с соавт., 2005)



# Пути проникновения и распределения наноматериалов в организме человека

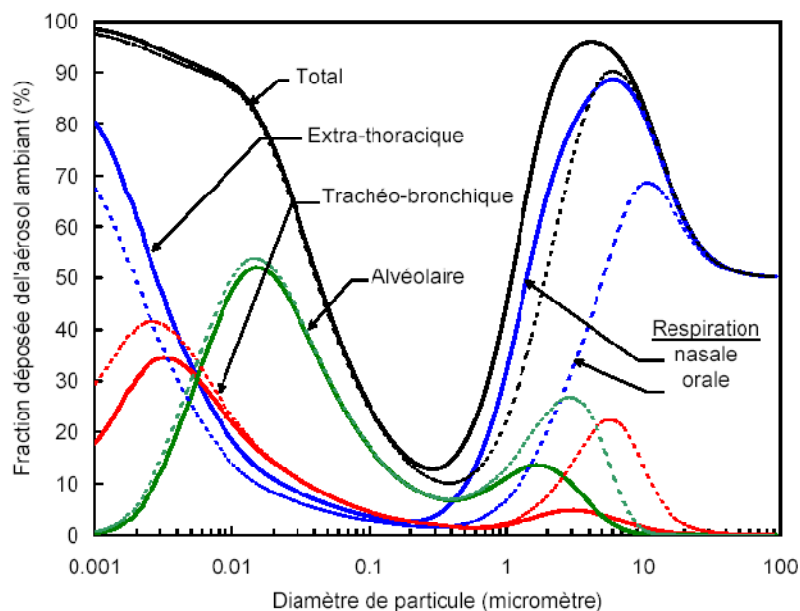


# Аэрозоли. Одностенные УНТ.



# Проникновение наночастиц через органы дыхания

Частицы аэрозолей могут быть ингалированы, если их аэродинамический диаметр меньше 10 микрон. Частицы, размером один нм, не могут достигнуть легочных альвеол; они депонируются в верхних областях легких. Частицы, размером пять нм, депонируются относительно равномерно в носу и зеве, трахее и бронхиолах и, наконец, в альвеолах. Более 50% наночастиц, имеющих размеры 20 нм, скапливается в альвеолах



Депонирование частиц в различных отделах дыхательных путей, в зависимости от размера.

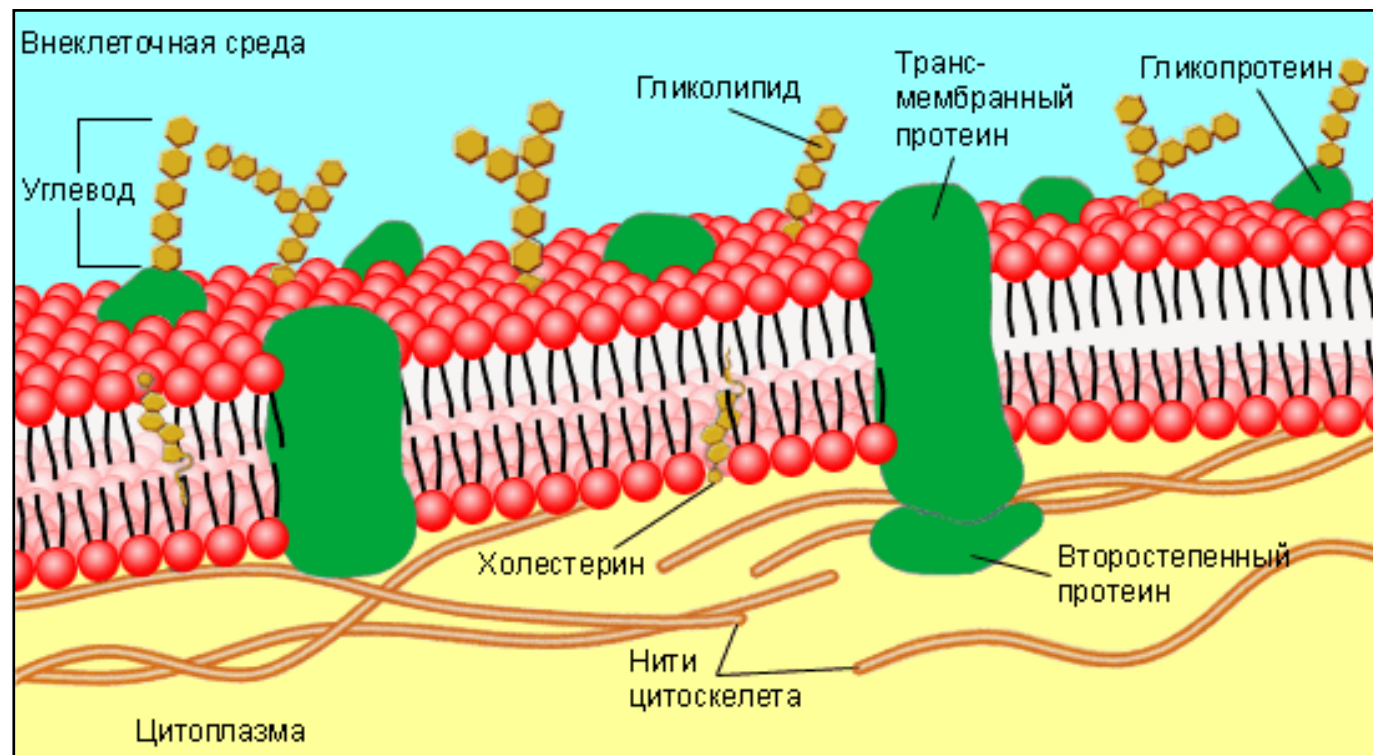


# **Взаимодействие наночастиц с клетками**



# Клеточная мембрана

Все биологические мембраны имеют сходное строение: они состоят из липидного бислоя и мембранных белков.



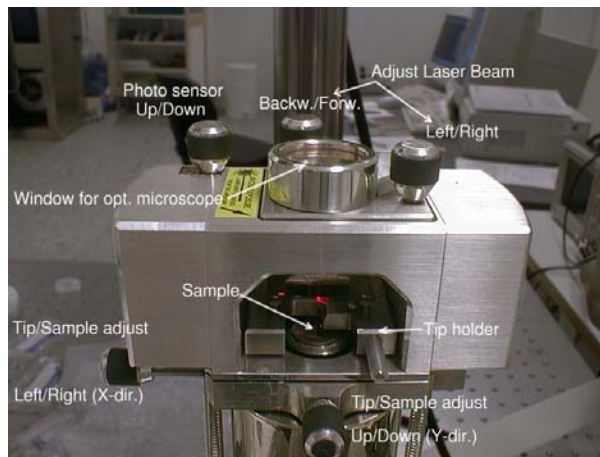


# Проблемы детекции наночастиц в биологических системах



# Проблема детекции наночастиц в биологических системах

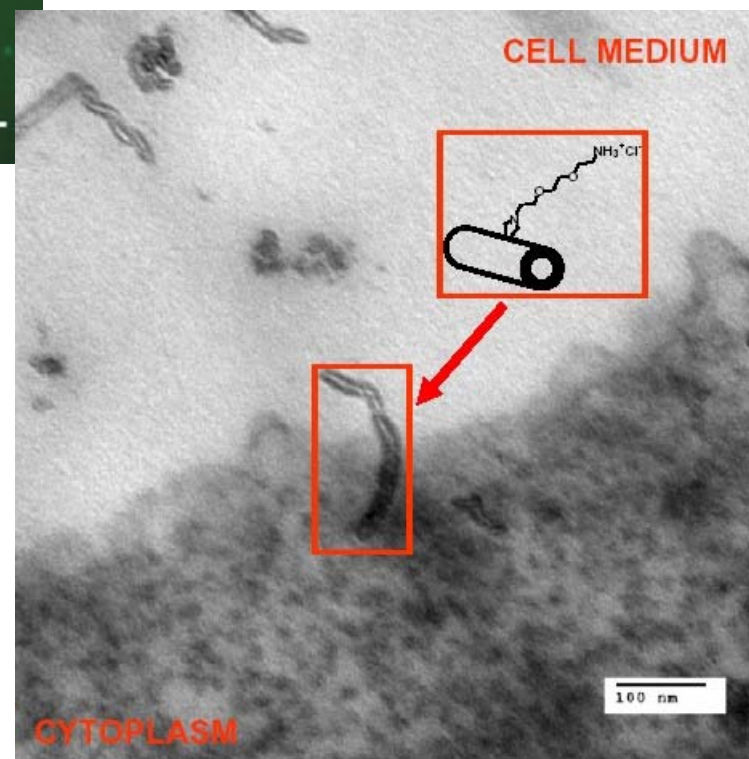
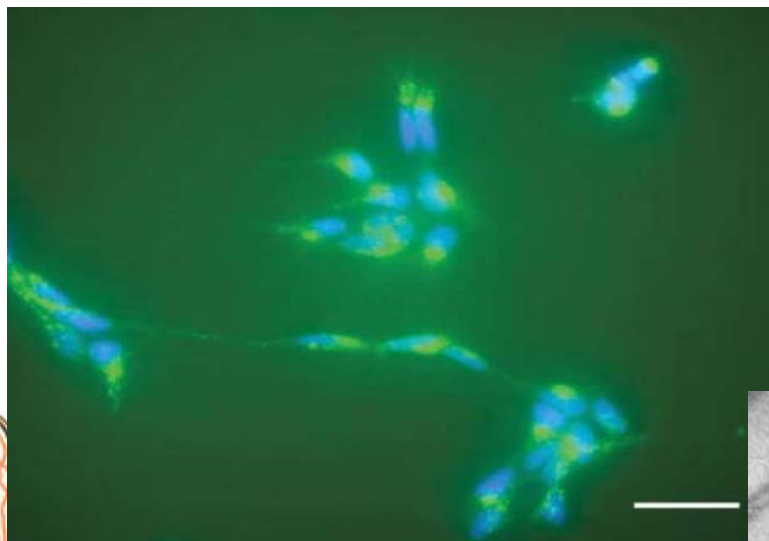
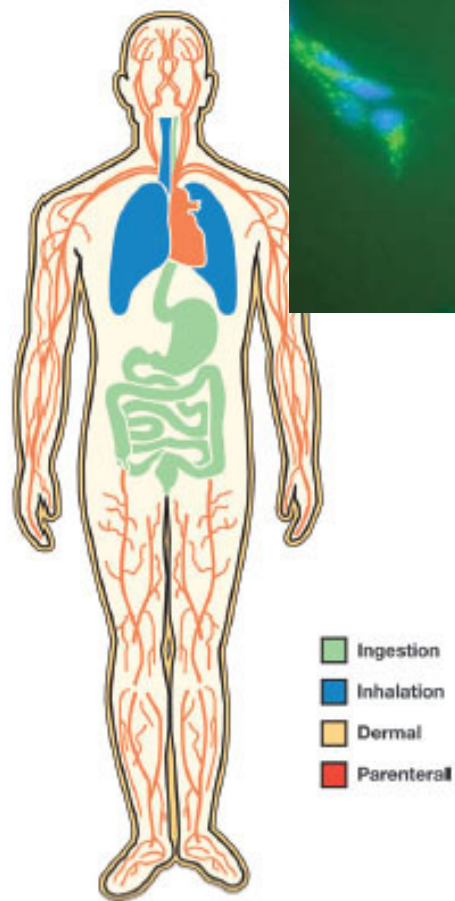
## Оптическая, электронная, зондовая микроскопия



# Различные виды микроскопии

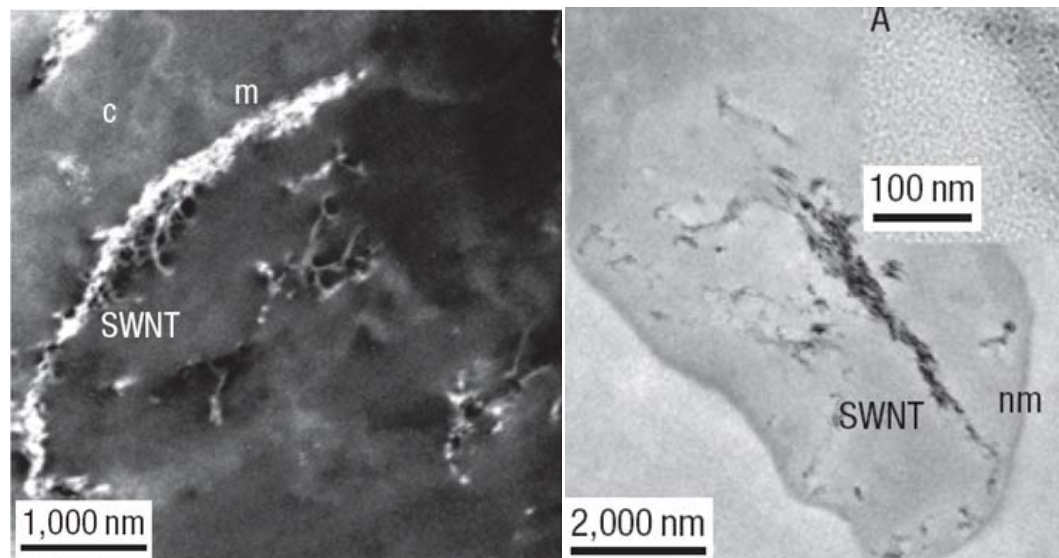
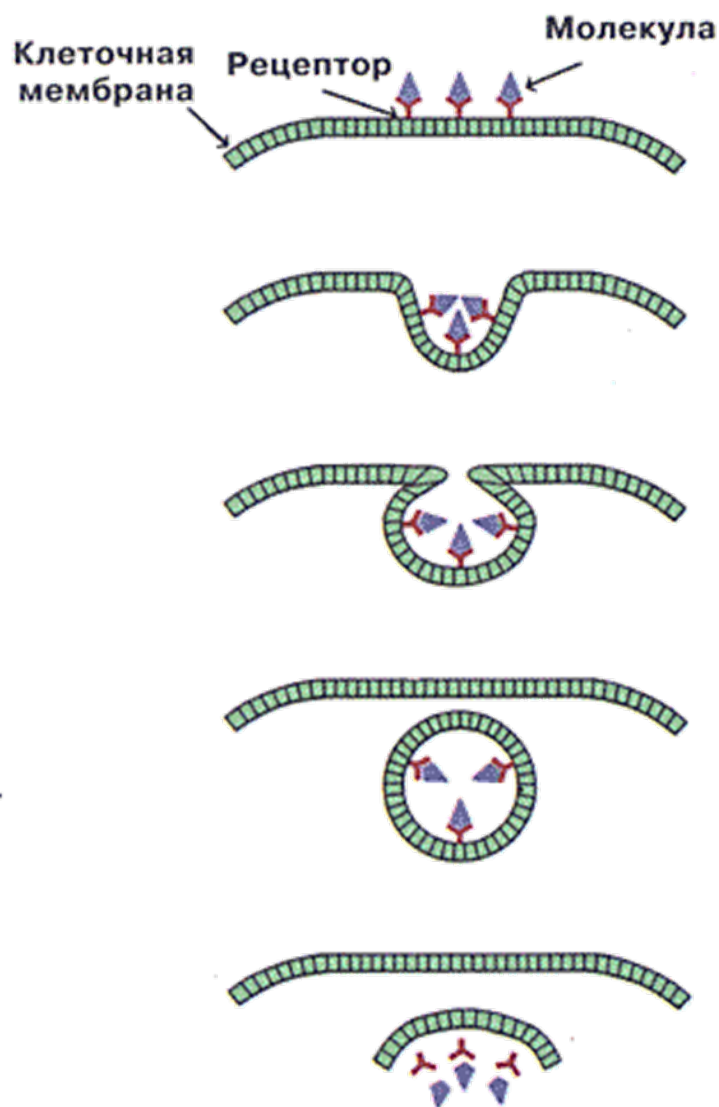
	Оптический микроскоп	Сканирующий электронный микроскоп	Просвечивающий электронный микроскоп	Атомно-силовой микроскоп
Основной принцип действия	Поглощение света (дифракция, рассеяние и т.д.) или флуоресценция	Рассеяние электронов	Поглощение электронов	Механическое взаимодействие зонда и образца
Типичная разрешающая способность	>400 нм	~1 нм	~1Å	~1Å
Что изучается	Тонкий срез или поверхность	Поверхность	Тонкий срез	Поверхность
Сложное приготовление образца	Иногда	Почти всегда	Почти всегда	Иногда

# Проникают ли наночастицы в клетки?





# Проникновение наночастиц в клетку



Время воздействия УНТ: 4 дня. Слева – УНТ на клеточной мембране, справа – УНТ в ядре.  
m, plasma membrane; c, cytoplasm; nm, nuclear membrane.

**Два механизма проникновения:**

- Эндоцитоз
- Непосредственное проникновение через мембраны



# Наночастицы в клетках

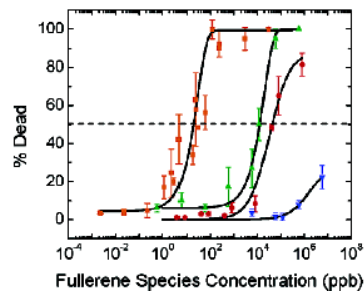


Наночастицы углеродной сажи  
в клетках кожи человека

Масштабный отрезок 300 нм

# Важно: Гидрофилизация фуллеренов уменьшает их цитотоксичность

Fullerene Species	Structure	Live Stain	Dead Stain
$C_{60}$			
$C_3$			
$Na^{+}_{2-3}[C_{60}O_{7-9}(OH)_{12-15}]^{2-3-}$			
$C_{80}(OH)_{24}$			



Differences in the structure and cellular activity of nano- $C_{60}$ ,  $C_3$ ,  $Na^{+}_{2-3}[C_{60}O_{7-9}(OH)_{12-15}]^{2-3-}$ , and  $C_{80}(OH)_{24}$ . The structure of each fullerene species is shown in the table, as well as the live and dead stains. (Bottom) The differential cytotoxicity of nano- $C_{60}$  (9) as compared to  $C_3$  (2),  $Na^{+}_{2-3}[C_{60}O_{7-9}(OH)_{12-15}]^{2-3-}$  (b), and  $C_{80}(OH)_{24}$  (1) in human dermal fibroblasts. Cells were exposed to toxicant for 48 h.

Christie M. Sayes et al,

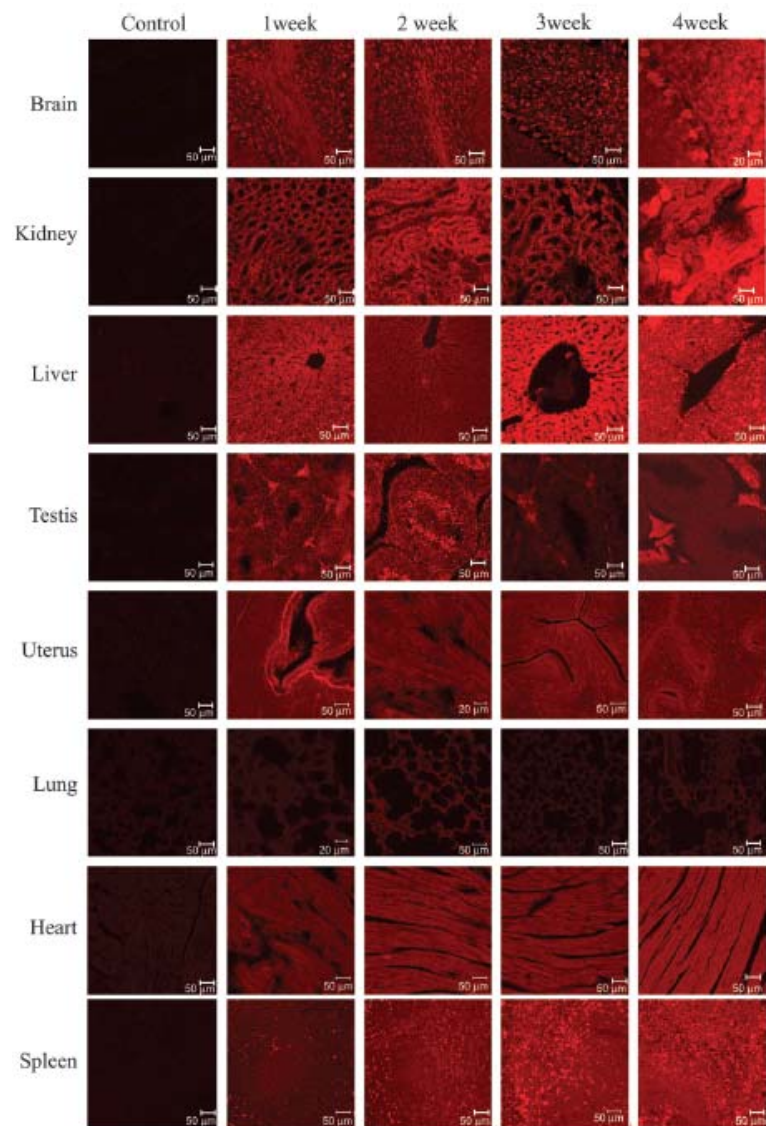
**NANO  
LETTERS**

**2004  
Vol. 4, No. 10  
1881–1887**

# **Распределение наночастиц в органах и тканях**

# Распределение наночастиц в тканях

- ❖ Для изучения распределения наночастиц внутри организма может эффективно применяться флуоресцентная микроскопия.
- ❖ Наночастицы с флуоресцентным маркером были введены мышкам в виде суспензии в дозировке 100 мг/кг.
- ❖ В эксперименте использовались наночастицы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , покрытые  $\text{SiO}_2$
- ❖ Минимальное количество наночастиц накапливается в легких.
- ❖ Наночастицы проникают через гематоэнцефалический барьер.



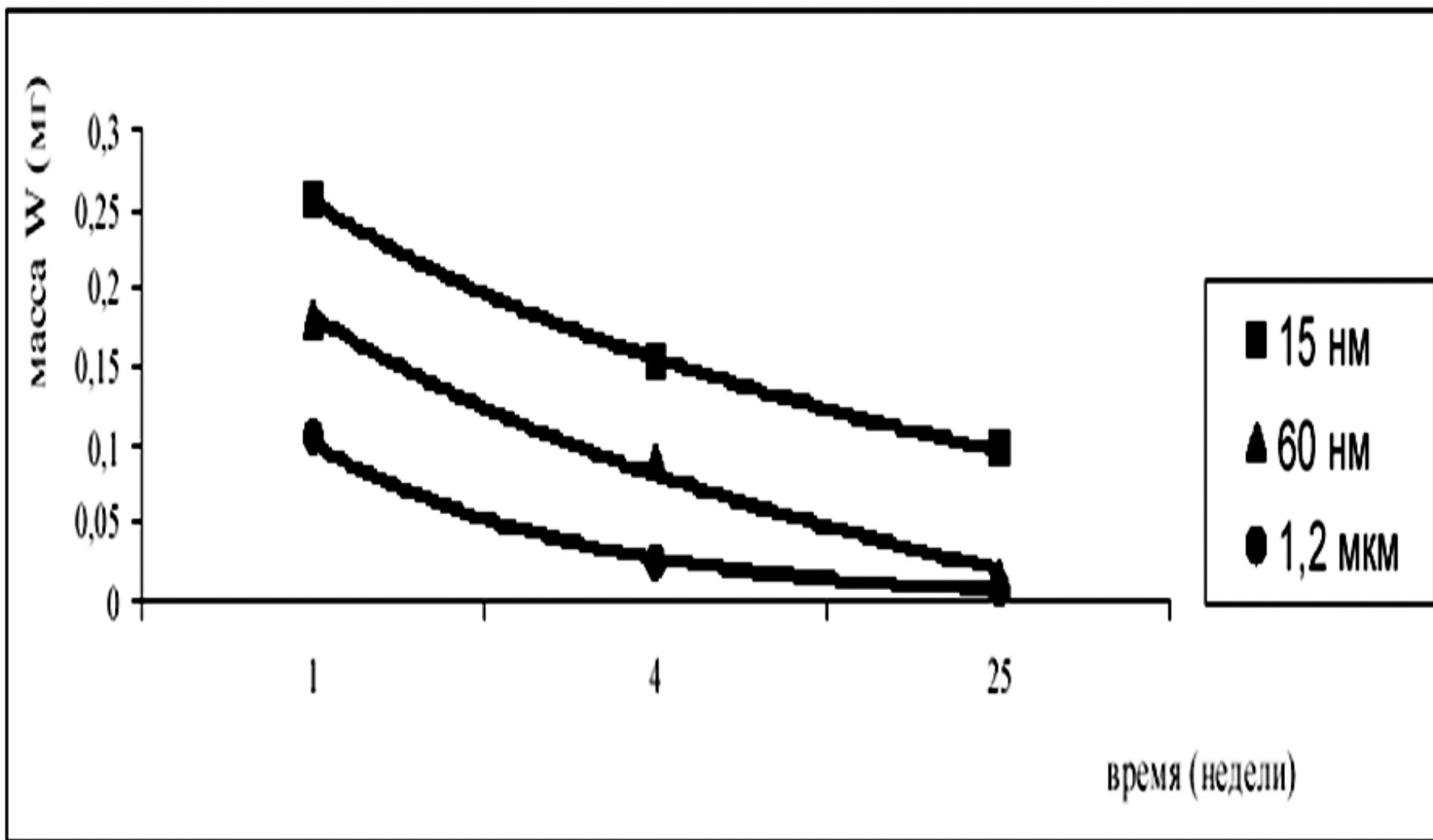
# Селективность поглощения наночастиц органами и скорость выведения в зависимости от размера частиц (по данным ИМЕТ РАН)

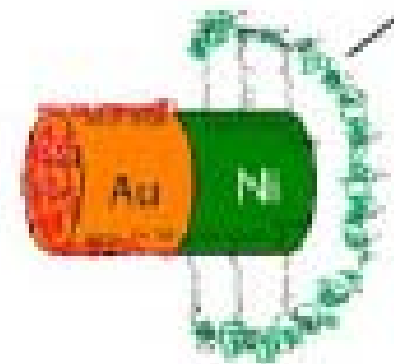
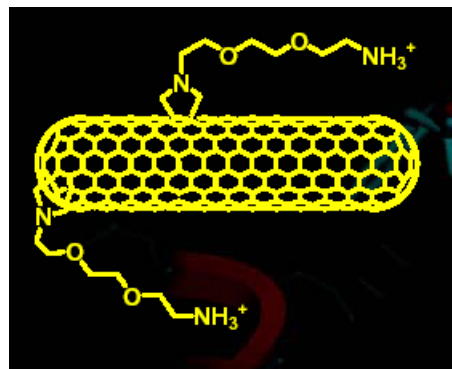
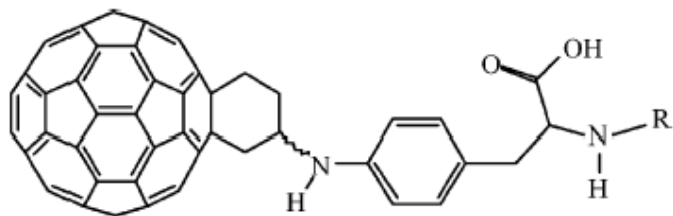
Распределение порошков карбида вольфрама по органам экспериментальных ЖИВОТНЫХ

Размер порошка WC, нм	Сроки выведения животного из эксперимента после затравки, недели	Количество карбида вольфрама в органе, мг						
		Лёгкие	Печень	Почки	Сердце	Мозг	Селезёнка	Гонады
15	1	0,256	0,019	0,008	0,002	0,006	0,008	0,012
	4	0,153	0,012	0,002	0,001	0,002	0,004	0,005
	25	0,097	0,012	0,002	0,001	0,002	0,003	0,004
60	1	0,18	0,015	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004
	4	0,088	0,018	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
	25	0,016	0,014	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
1200	1	0,105	0,004	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003
	4	0,025	0,004	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
	25	0,008	0,004	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
Контроль 1		0,0015	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Контроль 2		0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001



# Выведение карбида вольфрама из легких





**Эффекты неблагоприятного воздействия на организм наночастиц и наноматериалов не могут быть просто предсказаны, исходя из токсичности объемных фаз того же химического состава**

