



Что такое детонационные наноалмазы и что они умеют?

Чернышева Мария Григорьевна

МГУ имени М.В.Ломоносова,
химический факультет, кафедра радиохимии

E-mail: chernyshevamg@my.msu.ru

<https://vk.com/mariachernysheva>

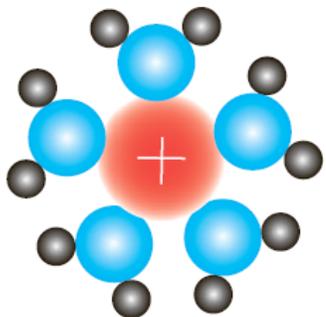
Содержание



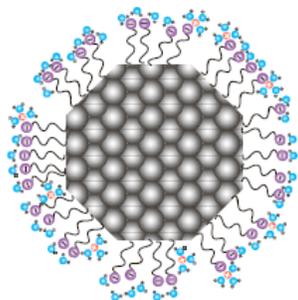
1. Введение. Классификация углеродных наноматериалов
2. Получение nanoалмазов
3. Детонационные nanoалмазы
4. Свойства детонационных nanoалмазов
5. Применение и перспективы детонационных nanoалмазов

НАНОЧАСТИЦЫ VS. НАНОСИСТЕМЫ

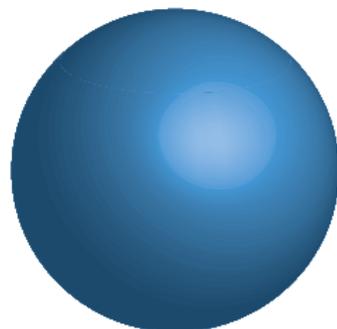
Hydrated Ions
 $l < 1\text{nm}$



Nanoparticle
 $2\text{ nm} < l < 20\text{ nm}$



Microparticle
(Classical Colloid)



ScienceDirect

Nanosystems

Systems of nanosystems – thousands of interacting devices and systems of devices

From: Nanolithography, 2014

Nanosystems are described as particles with size ranging from 1 to 100 nm, or particles that have one dimension below 10 nm

REVIEW SUMMARY

NANOPARTICLES

Nonadditivity of nanoparticle interactions

Carlos A. Silvera Batista, Ronald G. Larson,* Nicholas A. Kotov*

Nanoparticle

Article [Talk](#)



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

From Wikipedia, the free encyclopedia

A **nanoparticle** or **ultrafine particle** is usually defined as a particle of **matter** that is between 1 and 100 **nanometres** (nm) in **diameter**.^{[1][2]} The term is sometimes used for larger particles, up to 500 nm,^[citation needed] or fibers and tubes that are less than 100 nm in only two directions.^[3] At the lowest range, metal particles smaller than 1 nm are usually called **atom clusters** instead.

Что такое наноматериал?

Alphabetical Index

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	XYZ

- Additional Indexes
- Physical Constants
 - Units of Measure
 - Physical Quantities
 - SI Prefixes
 - Ring Index
 - General Formulae
 - Exact Formulae
 - Source Documents
 - Terms by IUPAC Div.

nano

Online use... < >

<https://doi.org/10.1351/goldbook.N04082> Copy

SI prefix for 10^{-9} (symbol: n).

Source:
Green Book, 2nd ed., p. 74 [Terms] [Book]

Citation: 'nano' in *IUPAC Compendium of Chemical Terminology*, 3rd ed. International Union of Pure and Applied Chemistry; 2006. Online version 3.0.1, 2019. <https://doi.org/10.1351/goldbook.N04082> [RIS] [BibTex] [EndNote]

Div. I PDF Text JSON History Prefix

Alphabetical Index

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	XYZ

- Additional Indexes
- Physical Constants
 - Units of Measure
 - Physical Quantities
 - SI Prefixes
 - Ring Index
 - General Formulae
 - Exact Formulae
 - Source Documents
 - Terms by IUPAC Div.

nanocomposite

Online use... < >

<https://doi.org/10.1351/goldbook.NT07243> Copy

Composite in which at least one of the phase domains has at least one dimension of the order of nanometres.

Source:
PAC, 2007, 79, 1801. (*Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic-organic hybrid materials (IUPAC Recommendations 2007)*) on page 1813 [Terms] [Paper]

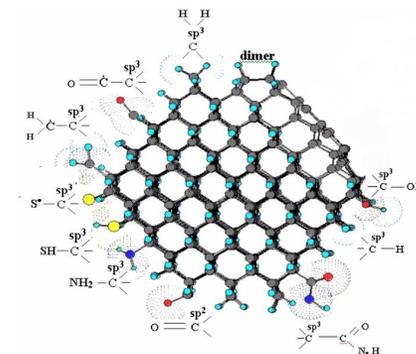
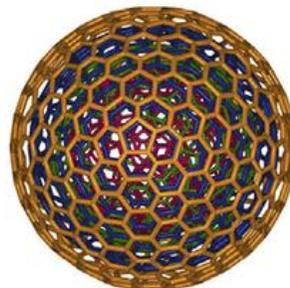
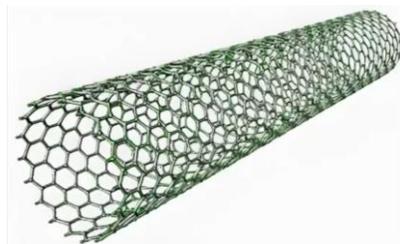
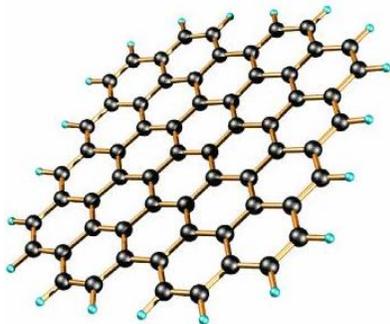
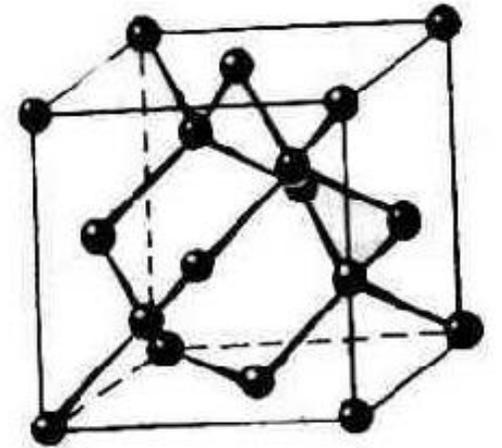
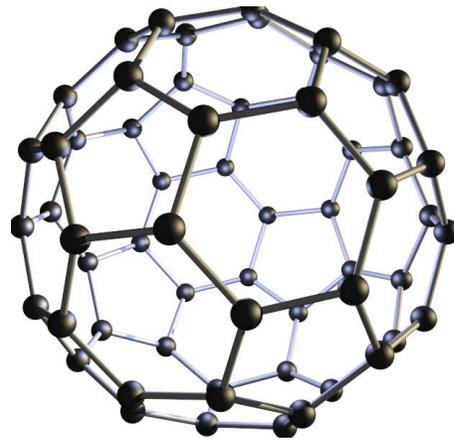
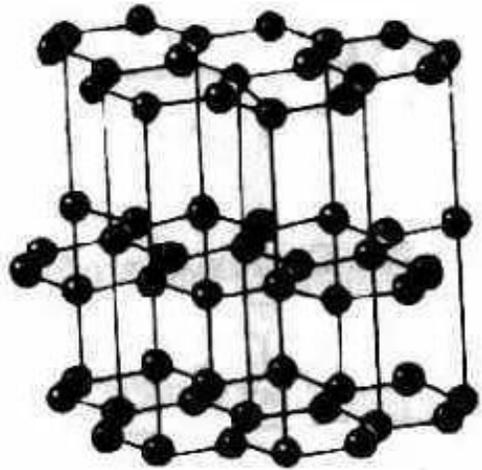
Citation: 'nanocomposite' in *IUPAC Compendium of Chemical Terminology*, 3rd ed. International Union of Pure and Applied Chemistry; 2006. Online version 3.0.1, 2019. <https://doi.org/10.1351/goldbook.NT07243> [RIS] [BibTex] [EndNote]

Div. IV PDF Text JSON History

Last revised: February 24, 2014

Аллотропия углерода в «наномире»

Аллотропия (от др.-греч. ἄλλος «другой» + τρόπος «поворот, свойство») — существование двух и более простых веществ одного и того же химического элемента.



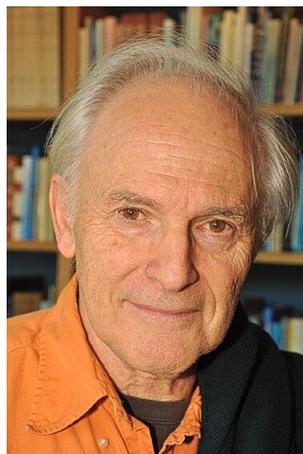
Фуллерен (Нобелевская премия по химии 1996)



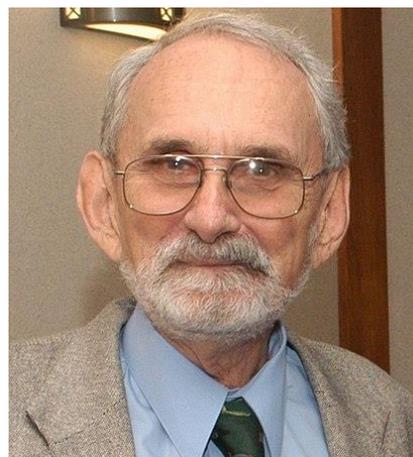
Фуллерен — молекулярное соединение, представляющее собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из трёхкоординированных атомов углерода.

1985 г. Обнаружены кластеры C_{60} и C_{70} в парах графита выдвинута гипотеза, что молекула C_{60} имеет форму усечённого икосаэдра.

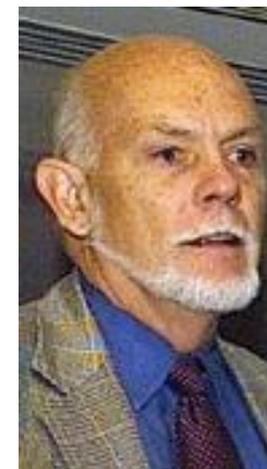
Полиэдрические кластеры углерода получили название фуллеренов
молекула C_{60} — бакминстерфуллерен (бакибол или букиболом от англ. Buckyball)



Харольд Уолтер Крото
(7.10.1939 — 30.04.2016)



Роберт Кёрл
(23.08.1933 — 3.07.2022)



Ричард Смолли
(6.06.1943 — 28.10.2005)

Графен (Нобелевская премия по физике 2008)



Графен (англ. graphene) — двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом. Атомы углерода находятся в sp^2 -гибридизации и соединены посредством σ - и π -связей в гексагональную двумерную кристаллическую решётку.



Константин Сергеевич Новосёлов



Андрей Константинович Гейм

Классификация углеродных наноматериалов



1. По типу ковалентной связи между атомами углерода

1.1 Графеновые наноструктуры, которые преимущественно состоят из sp^2 углерода и содержат сайты sp^3 (дефекты).

Имеют три идентичные ковалентные связи с другими атомами углерода с использованием sp^2 -орбиталей, создавая двумерную решетку из плотно упакованных шестиугольников.

Графены, углеродные нанотрубки, OLC

1.2. Углеродные структуры, которые содержат как атомы углерода sp^3 , так и sp^2 в различных соотношениях и содержат области из аморфного углерода и графита или состоят преимущественно из атомов углерода sp^3 .

Наноалмазы.

Где фуллерен?

Классификация углеродных наноматериалов

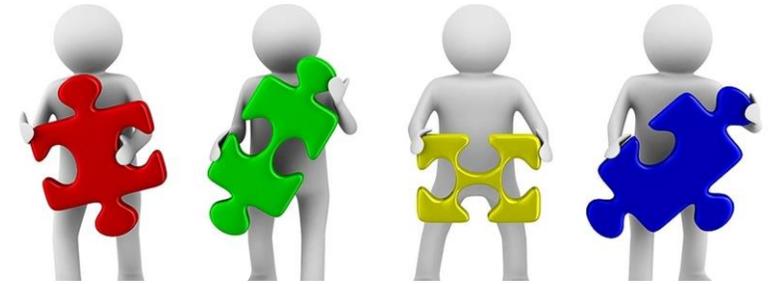
2. По морфологии

2.1 Структуры, содержащие внутренние полости.

фуллерены, углеродные нанотрубки

2.2. Структуры, не содержащие полости для включения примесных молекул и других наноструктур

Наноалмазы, графен, OLC



Классификация углеродных наноматериалов

3. По структурной размерности

3.1. 0D углеродные наноматериалы

фуллерены, наноалмазы, OLC

3.2. 1D углеродные наноматериалы

нанотрубки и нановолокна

3.3. 2D углеродные наноматериалы

графены

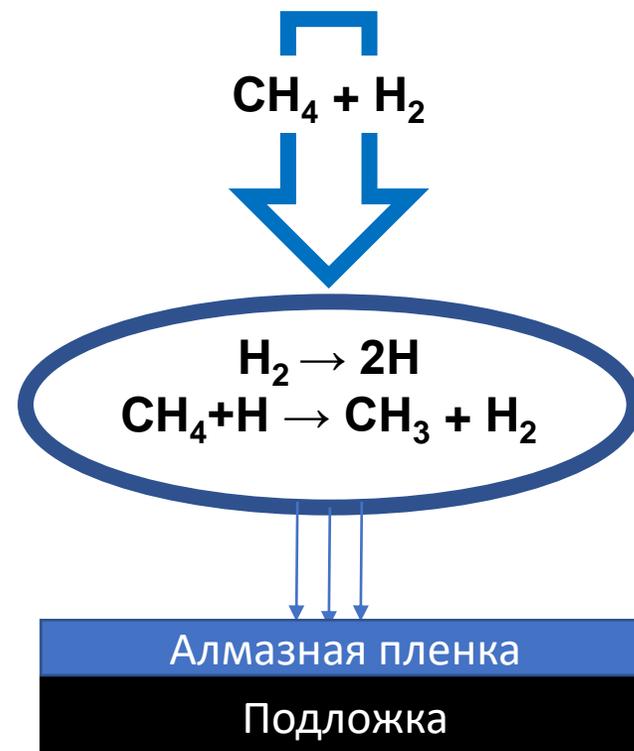


Наноалмазы. Получение

1. CVD наноалмазы

С середины 1950-х годов появилась возможность выращивать углеродные материалы с использованием широкого спектра методов химического осаждения из газовой фазы (англ. CVD - Chemical Vapor Deposition).

1. ввод газов реагентов в вакуумную камеру;
2. плазменная, термическая или химическая активация (распад на активные радикалы);
3. перенос активных радикалов и молекул к растущей поверхности;
4. химические и диффузионные процессы на поверхности;
5. осаждение алмаза на подложку.



Свойства CVD-наноалмазов



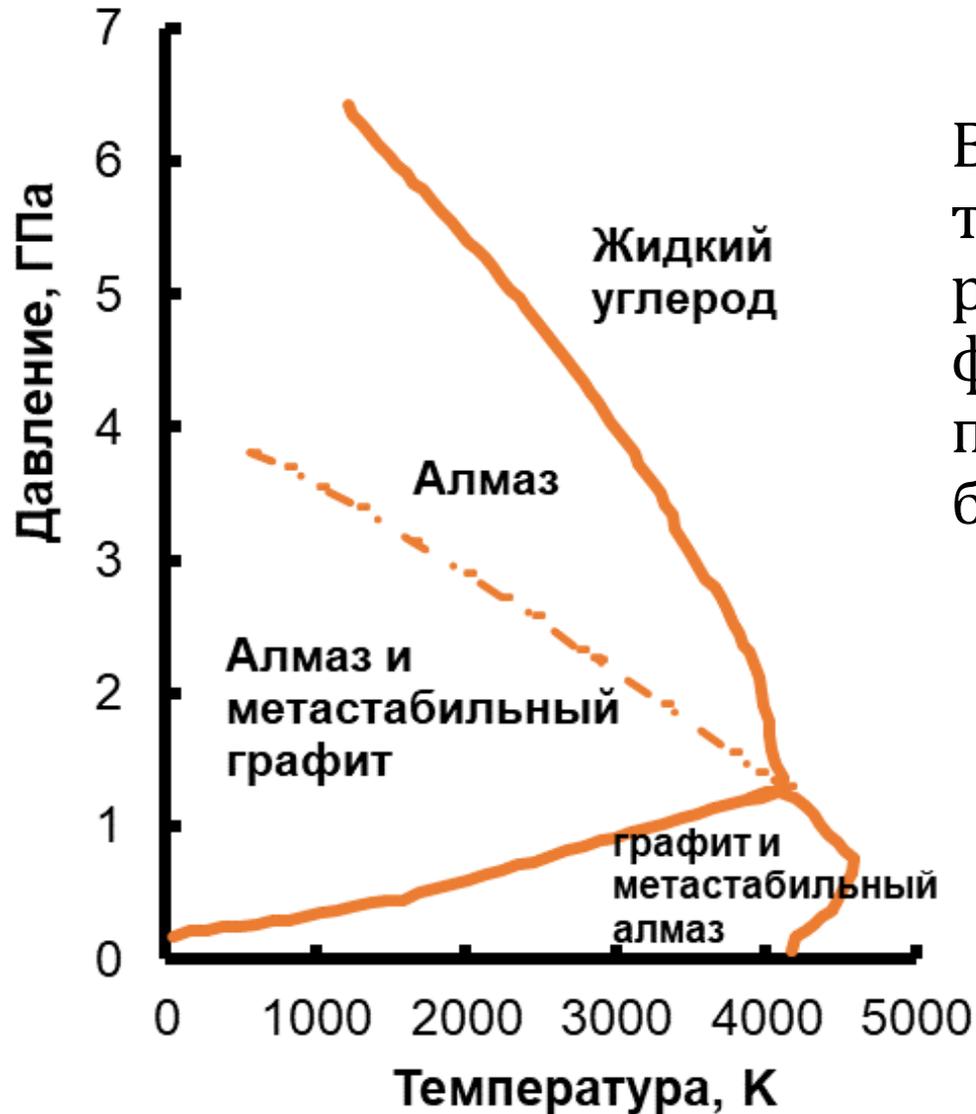
- Рекордно высокая твердость (до 90 ГПа) и износостойкость,
- Наивысший модуль упругости ($1,2 \times 10^{12}$ Н/м²)
- Рекордная среди всех известных материалов теплопроводность,
- Наименьший коэффициент теплового расширения при комнатной температуре (10^{-6} К⁻¹)
- Оптическая прозрачность в широком диапазоне от ультрафиолетового до глубокого инфракрасного диапазона длин волн,
- Химическая стойкость к большинству агрессивных сред
- Радиационная стойкость

Достоинства CVD-наноалмазов

- ✓ большие размеры пластин
- ✓ высокая воспроизводимость физических параметров благодаря тщательному контролю условий роста и чистоты используемых газов
- ✓ возможность выращивания пленок (изделий) заданной формы на профилированных подложках (метод реплики)
- ✓ возможность нанесения алмазных слоев на поверхности различных материалов



А можно ли получить из графита алмаз?

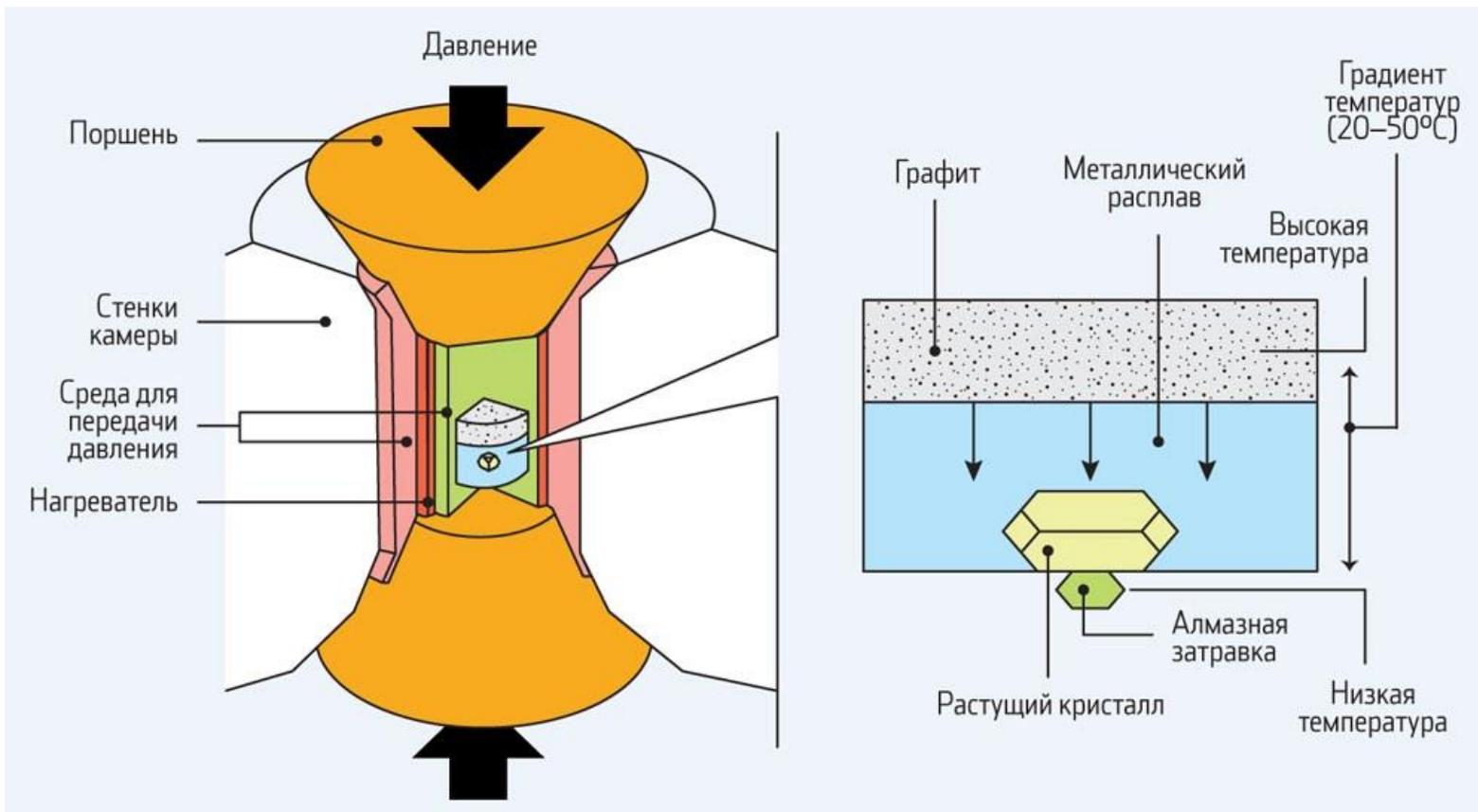


В 1939 году был выполнен термодинамический расчёт линии равновесия графит алмаз: графитовая фаза углерода может перейти в алмазную при давлении более 6 ГПа и температуре более 1500°C

... можно создать **сильным сжатием при одновременном нагреве** или **при помощи взрыва**. Первые синтетические алмазы были получены в 1953 году в камерах высокого давления

Наноалмазы. Получение

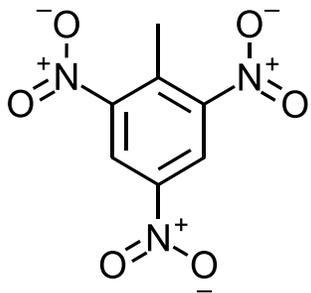
2. Метод высоких давлений и температур (англ. High Pressure High Temperature, HPHT)



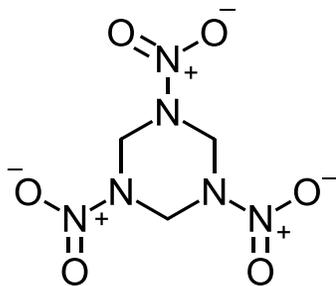
Выращивают кристаллы в специальном контейнере внутрь которого помещают несколько частиц кристаллов алмаза и заливают расплавленное железо, никель, кобальт, графит и другие. Электрическим током разогревается сплав до необходимой температуры. В итоге сплав растворяет алмаз и происходит кристаллизация углерода (графита). Кристаллизация может длиться от 12 суток до нескольких месяцев в зависимости до какой массы нужно вырастить кристалл алмаза.

Наноалмазы. Получение

3. Детонационный метод синтеза



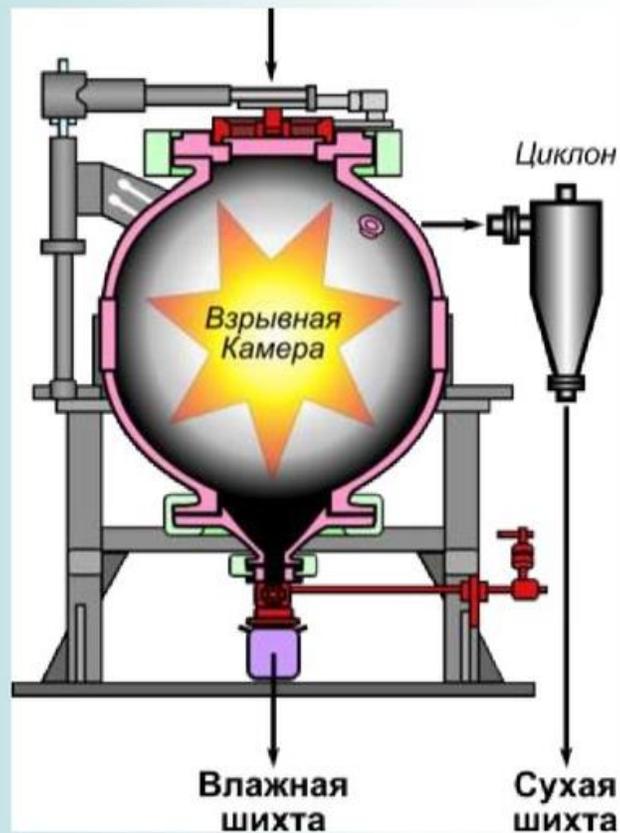
тринитротолуол
(тротил)



гексоген



Схема взрывной камеры используемой в ФГУП «СКТБ«Технолог»



Взрывная камера
Влажный синтез:
тротил:гексоген = 2:3,
заряд бронируют водным
раствором
восстановителя.

Подрыв производят в
инертной атмосфере

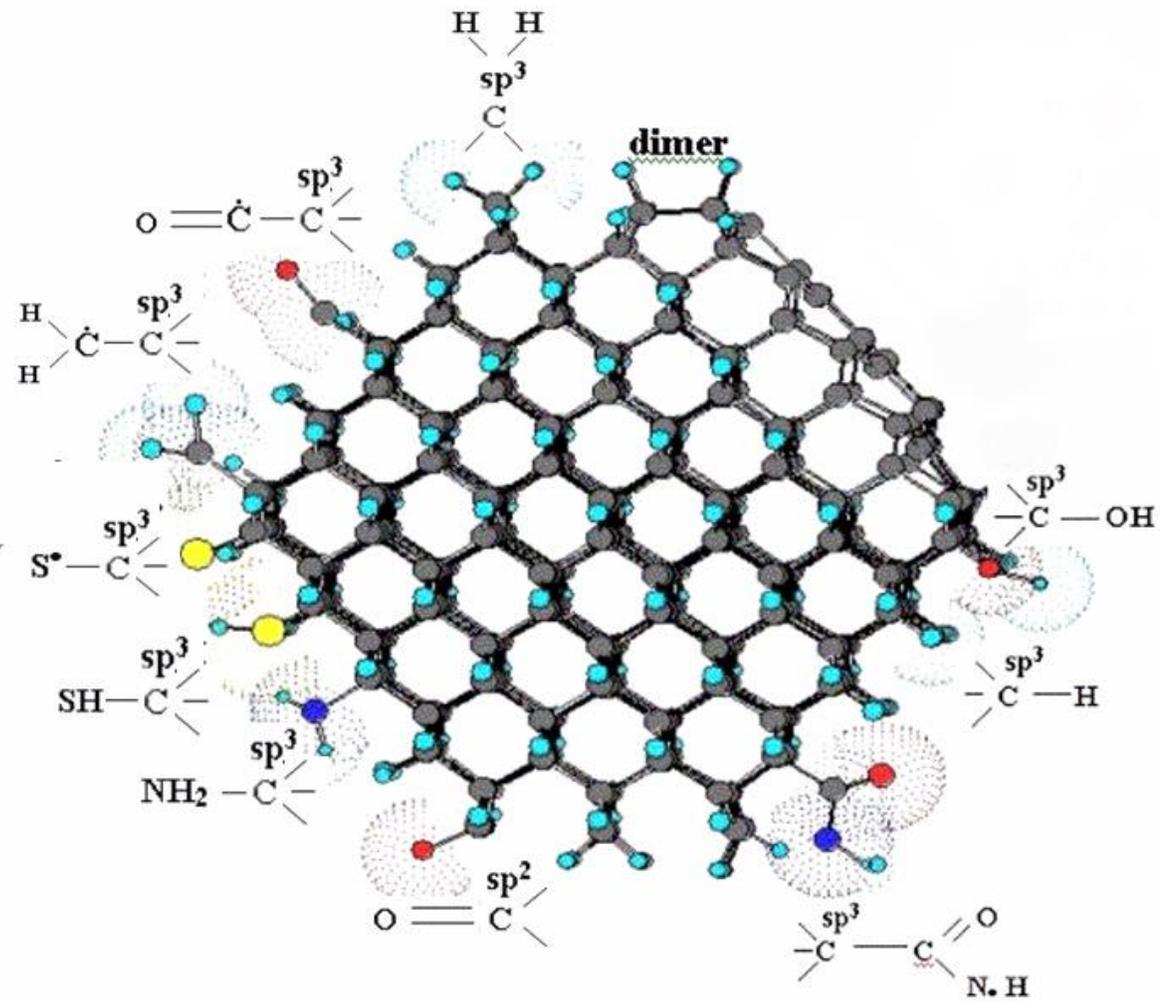
Детонационные наноалмазы

Способы выделения наноалмазов из алмазной шихты:

1. многократная обработка кипящими растворителями (например, хлороформ, бензол, ацетон, спирт или 1,2-дихлорэтан, бензол, диметилформамид, диметилсульфоксид) с последующим удалением растворителей и сушкой порошка
2. механическая фильтрация через сита и обработка концентрированной серной кислотой при температуре 100°C. После чего к смеси добавляют хромовый ангидрид и серная кислота. Далее смесь выдерживают при температуре 110-115°C. После оседания порошка жидкость удаляют и промывку водой повторяют до достижения pH 5-6. Затем наноалмаз промывают кипящей водой до отрицательной реакции на ионы металлов (алюминия, железа, хрома) и сушится при температуре 105-110°C. Полученный наноалмаз содержит неалмазный углерод в количестве 0,5-5%.

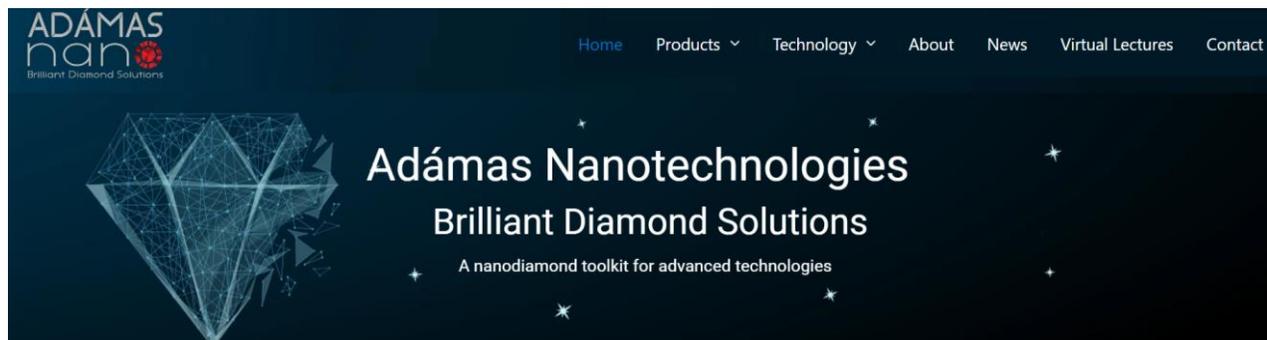


Схема строения наноалмазной частицы



<http://sktb-technolog.ru>

Производители детонационных наноалмазов



Nanoparticles Nano-Diamonds and Carbon Nanowires Quantum Dots



РЕАЛ-ДЗЕРЖИНСК ПРОИЗВОДСТВО И ПРОДАЖА АЛМАЗНЫХ И АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

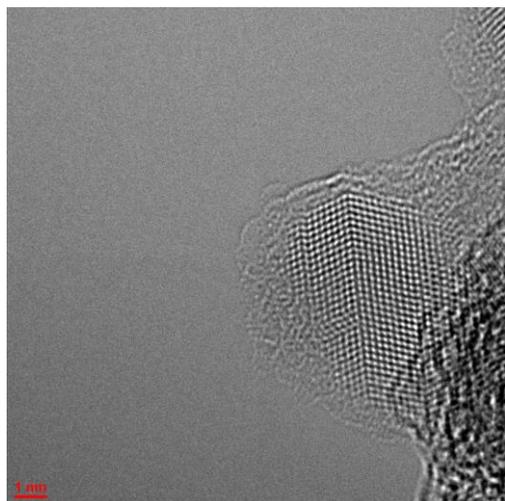
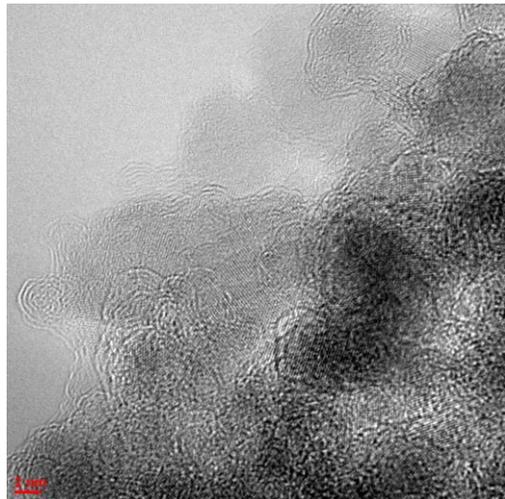


НП ЗАО "СИНТА"
производство наноалмазов
наноуглеродных и наноалмазных
добавок

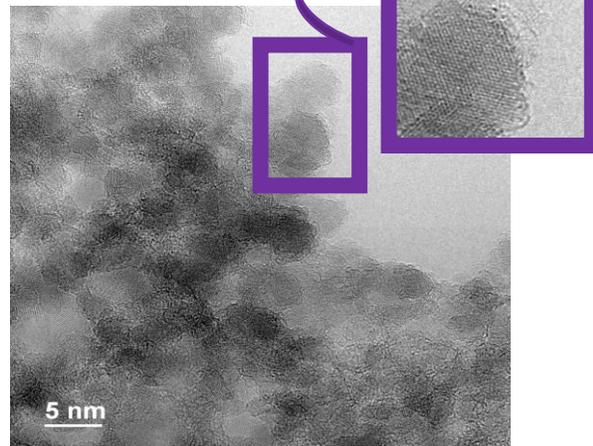


ПЭМ изображения наноалмазов

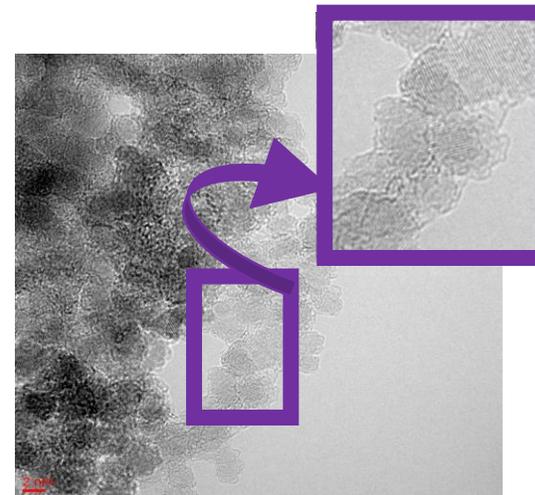
Aldrich



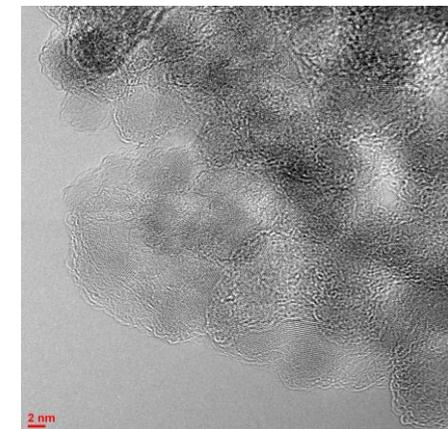
Синта



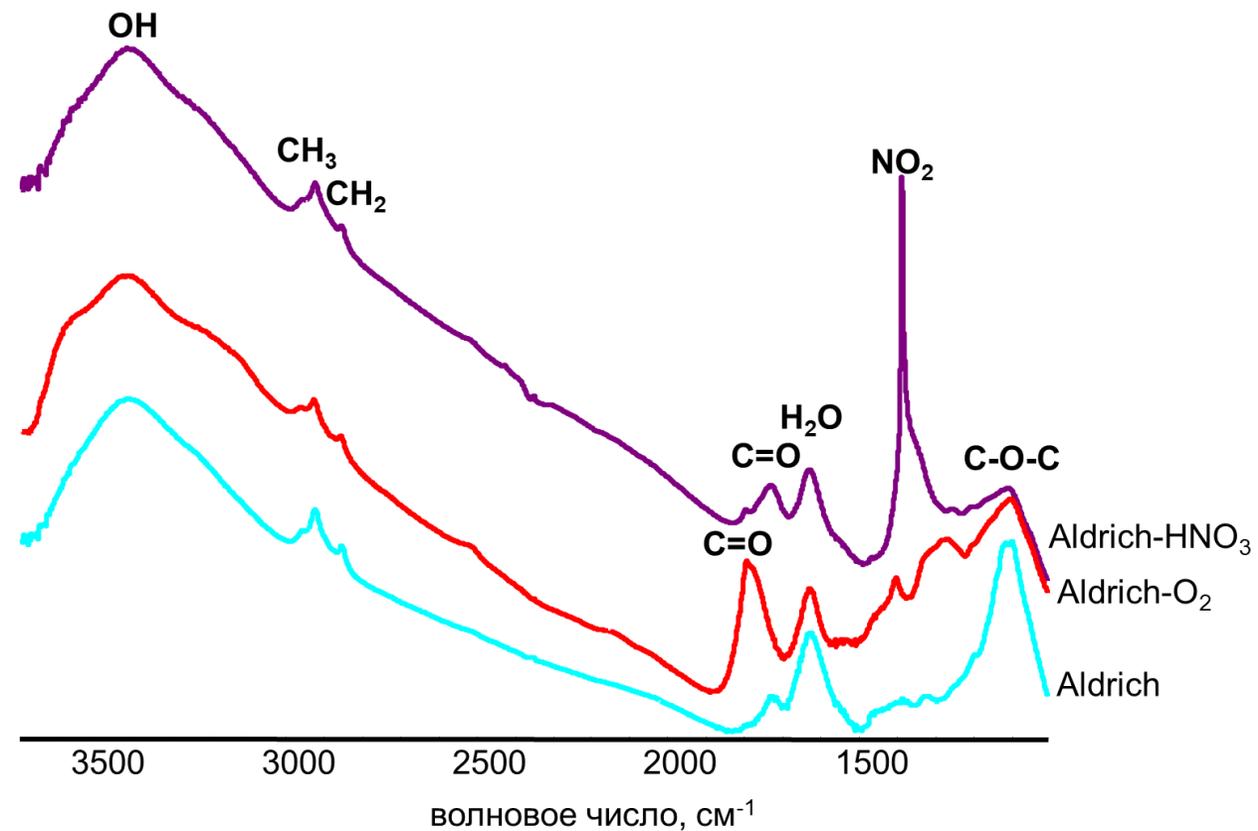
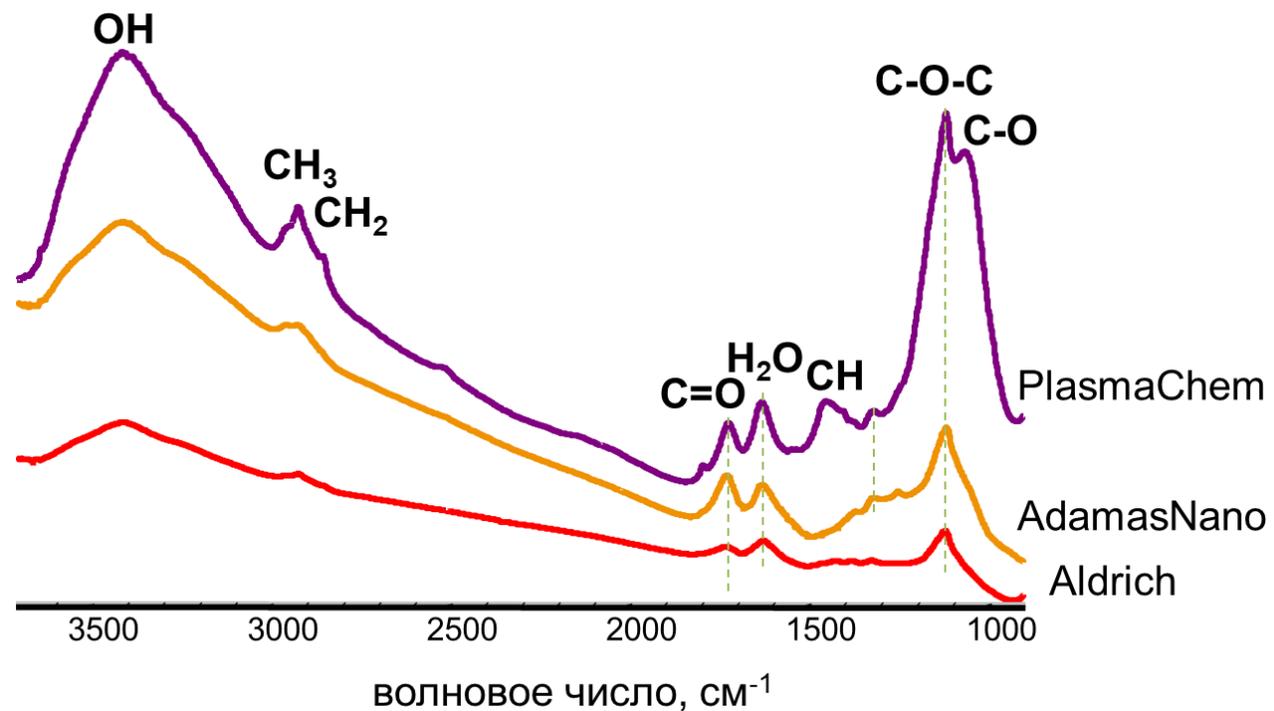
СКТБ «Технолог»



PlasmaChem



Функциональный состав поверхности детонационных наноалмазов



Применение наноалмазов

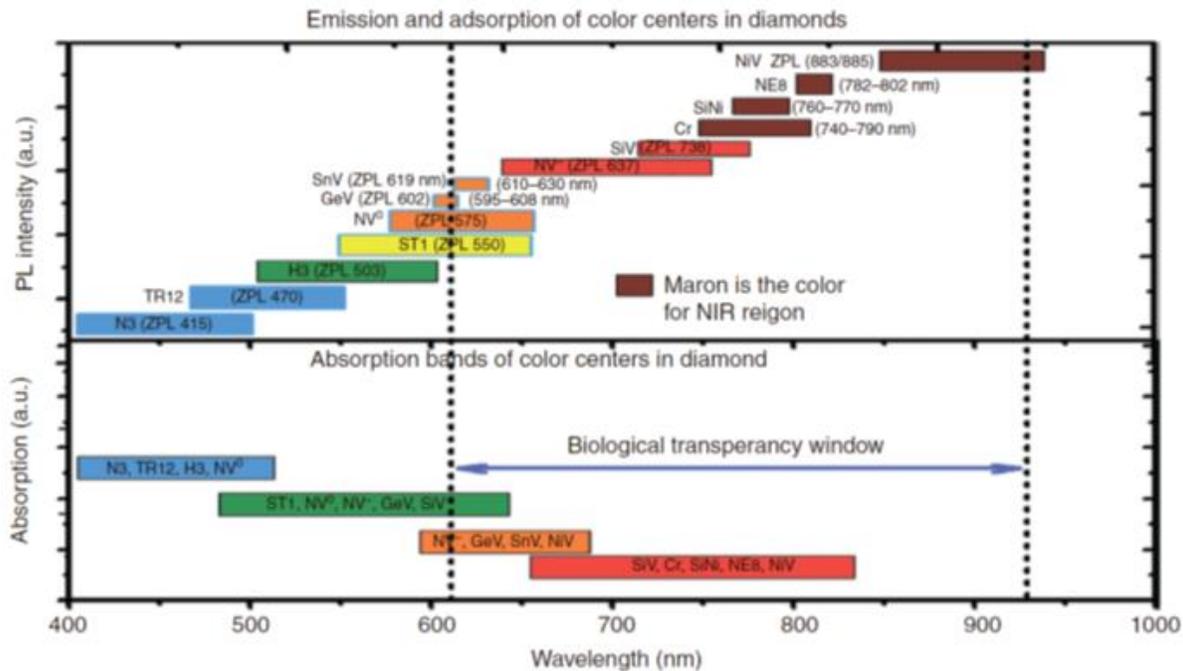
- Алмазная шихта находит основное применение в качестве антифрикционной добавки в маслах и консистентных смазках.
- Наноалмазы, в зависимости от размеров, используются в качестве абразивов.
- Наноалмазы используют для улучшения физико-механических свойств резин и каучуков



Как визуализировать наноалмазы?



➤ Использование флуоресцентных наноалмазов



DE GRUYTER

Nanophotonics 2018; 7(8): 1423-1453



Review article

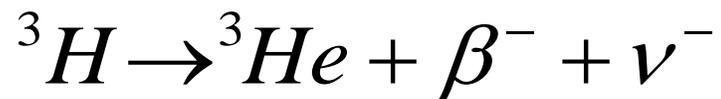
Masfer H. Alkahtani*, Fahad Alghannam, Linkun Jiang, Abdulrahman Almethen, Arfaan A. Rampersaud, Robert Brick, Carmen L. Gomes, Marlan O. Scully and Philip R. Hemmer

Fluorescent nanodiamonds: past, present, and future

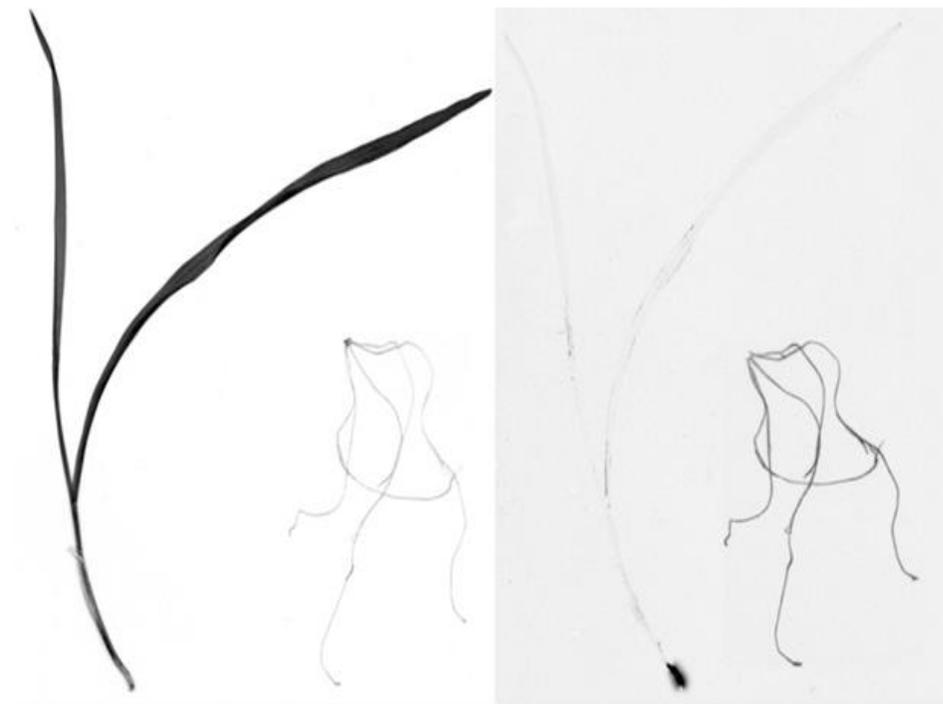
Как визуализировать наноалмазы?

- Использование радиоактивных индикаторов (меченные тритием наноалмазы)

Тритий – радиоактивный изотоп водорода



Период полураспада 12,33 года
Максимальная энергия бета-излучения 18,6 кэВ



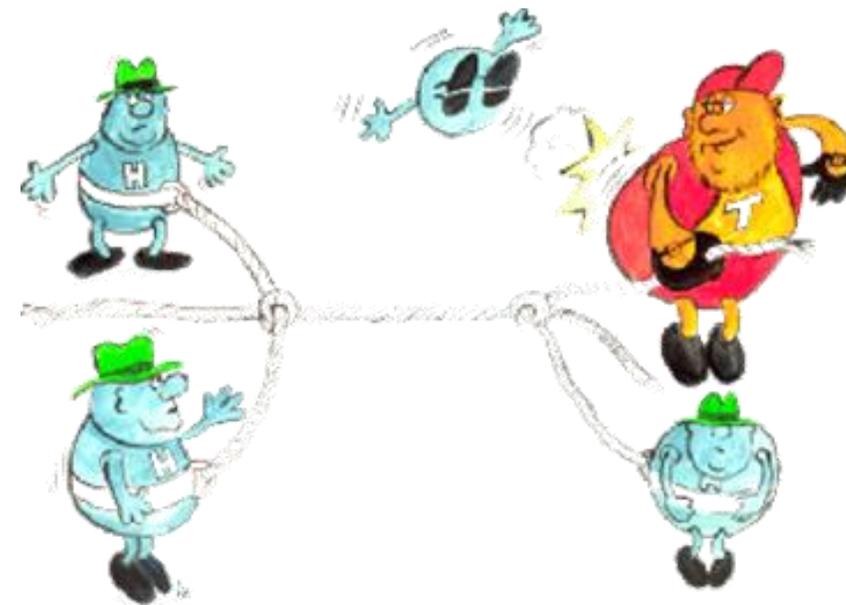
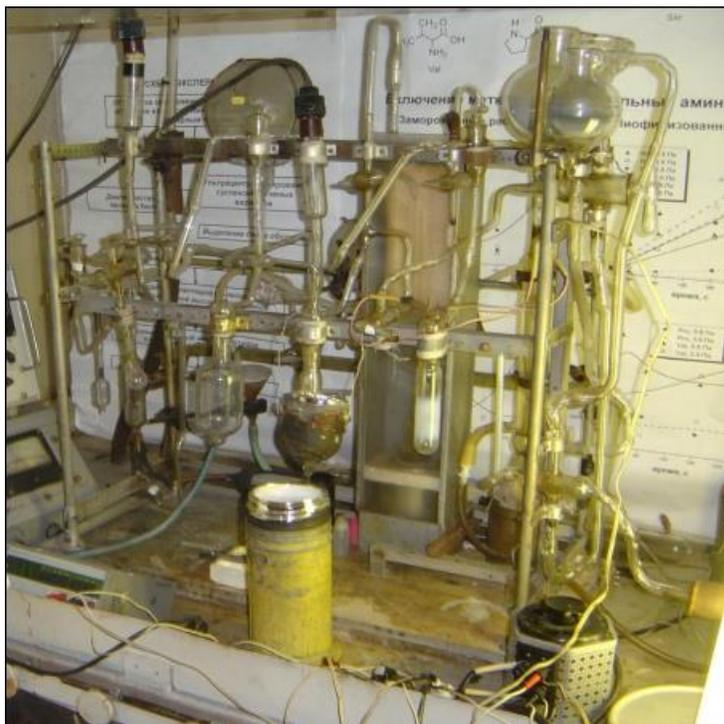
ФОТО

АРГ

Как ввести метку в наноалмазы?



Метод термической активации трития



Ирвинг Ленгмюр. Нобелевская премия 1932



- I. Langmuir <<The dissociation of hydrogen into atoms>>. *J. Am. Chem. Soc.*, 34 (1912) 860.
- I. Langmuir <<A chemically active modification of hydrogen>>. *J. Am. Chem. Soc.*, 34 (1912) 1310.
- I. Langmuir <<Chemical reactions at low pressures>>. *J. Am. Chem. Soc.*, 37 (1915) 1139.

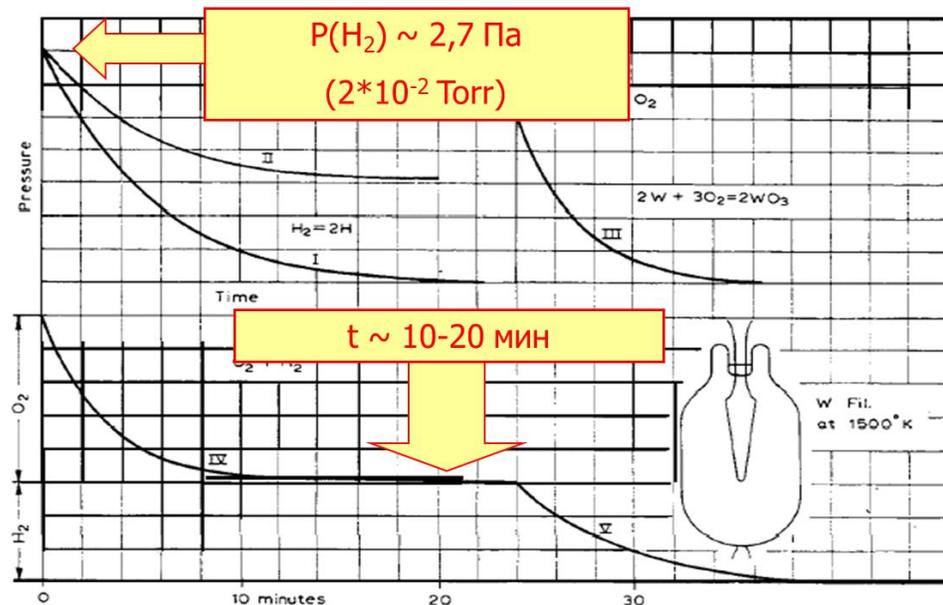


Fig. 1. Clean-up of hydrogen and oxygen in a tungsten filament lamp.

Первая публикация об использовании метода термической активации трития для метки биологически-активных соединений

«По отработанной методике воздействию атомарного трития подвергнуты полипептидный антибиотик А-128, который может рассматриваться как модель белковой молекулы, и гуанозинмонофосфат. При температуре нити 2000 К и временах экспозиции 2-5 мин. достигнуты удельные активности 10-20 Ки/ммоль (для «неподвижного» трития), которые могут быть, по всей видимости, увеличены при больших временах облучения.»

...из статьи Шишков А.В., Филатов Э.С., Симонов Е.Ф., Унукович М.С., Гольданский В.И., Несмеянов Ан.Н. «Получение меченных тритием биологически активных соединений». Докл. АН СССР. 1976. Т.228. С.1237-1239.



Несмеянов Андрей Николаевич
МГУ имени М.В.Ломоносова

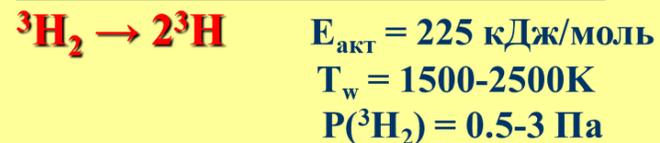


Гольданский Виталий Иосифович
Институт химической физики

Как происходит реакция?

Реакции, приводящие к получению меченых соединений:

Образование атомарного трития:

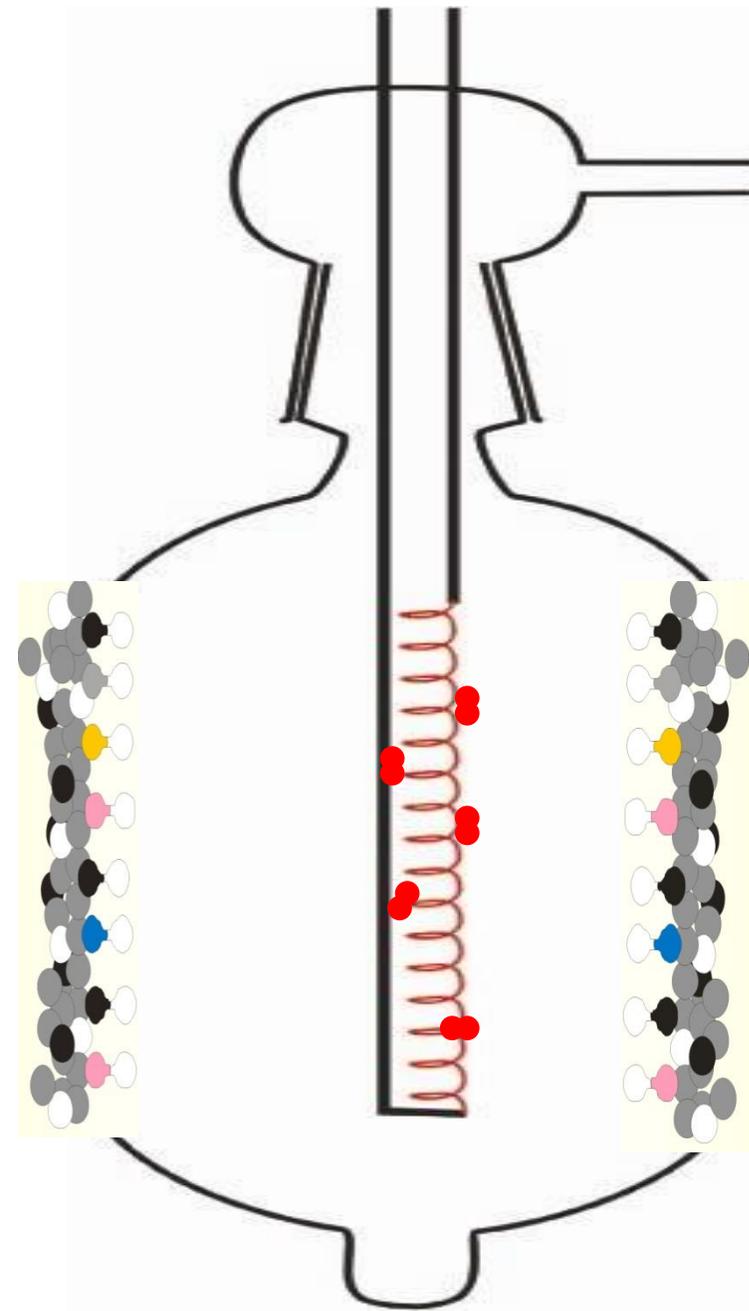


Изотопный обмен по С-Н связям:

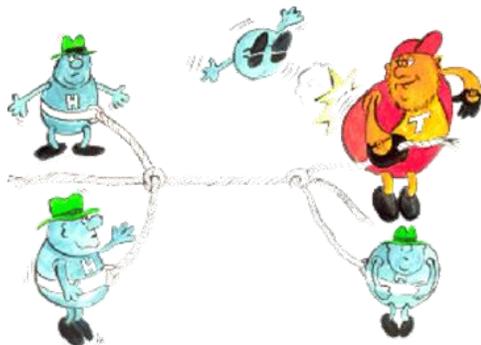


От чего зависит результат?

- Температура катализатора
- Температура мишени
- Давление трития
- Время экспонирования
- Структура мишени

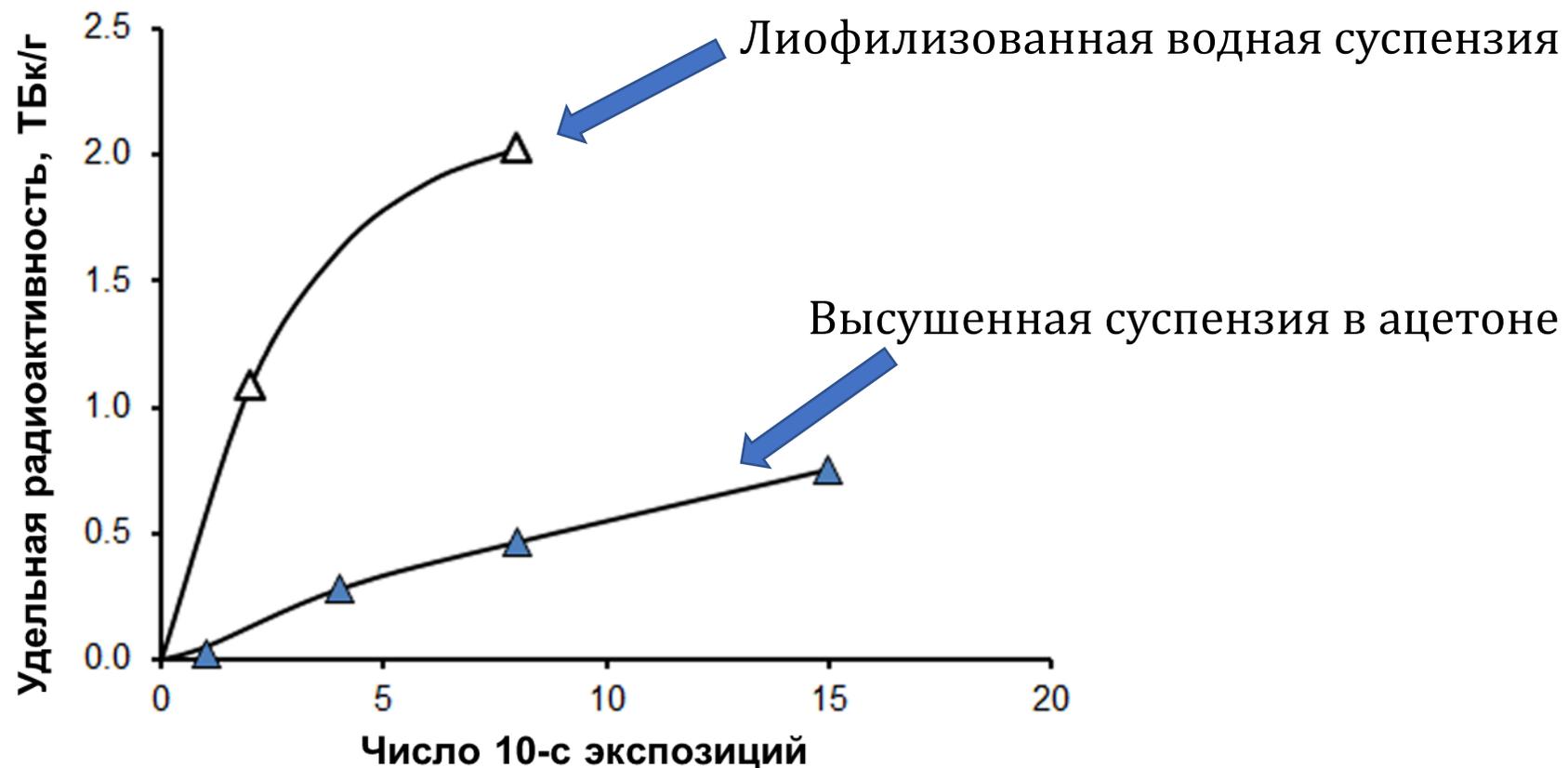


Что происходит на поверхности наноалмаза при взаимодействии с атомарным водородом (трением)?



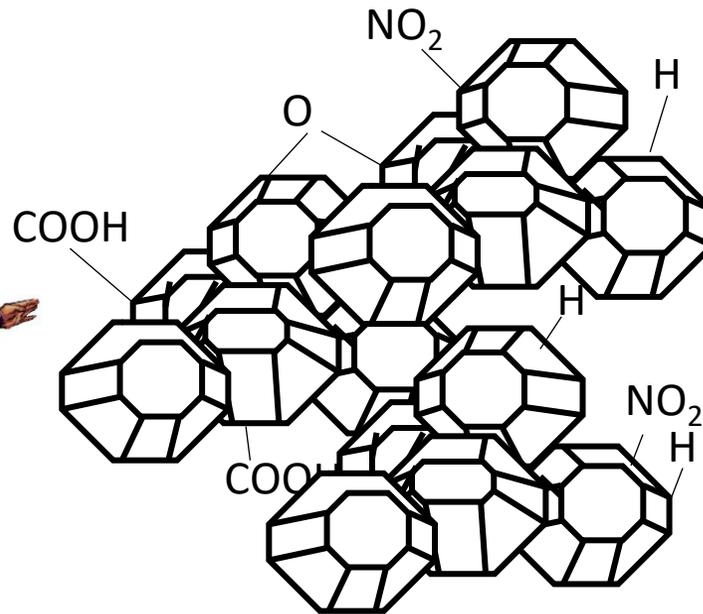
Удельная радиоактивность зависит от:

- ✓ Массы мишени
- ✓ Времени реакции
- ✓ Давления газа
- ✓ Температуры атомизатора
- ✓ Температуры мишени



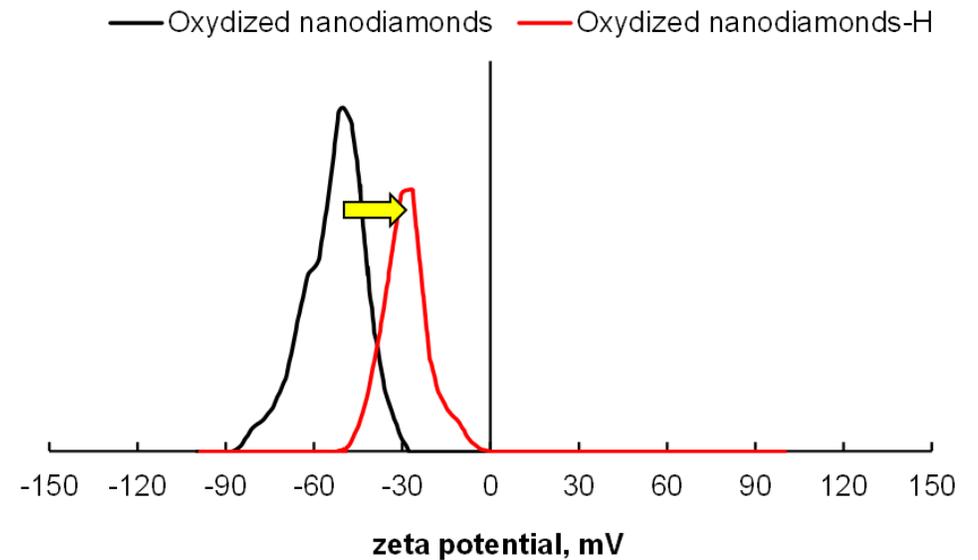
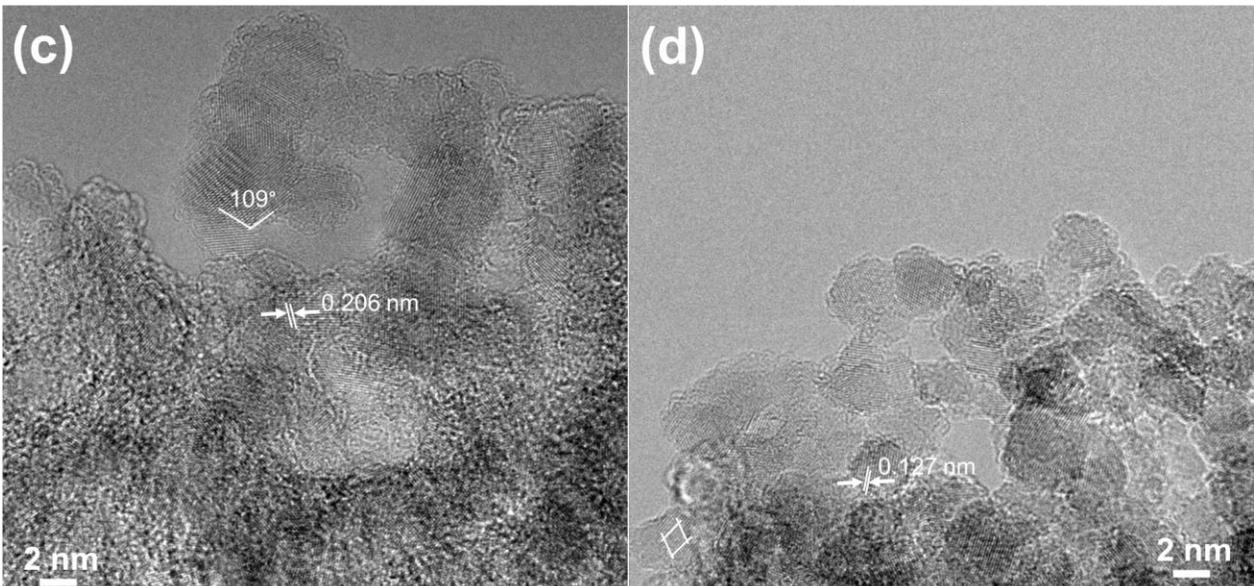
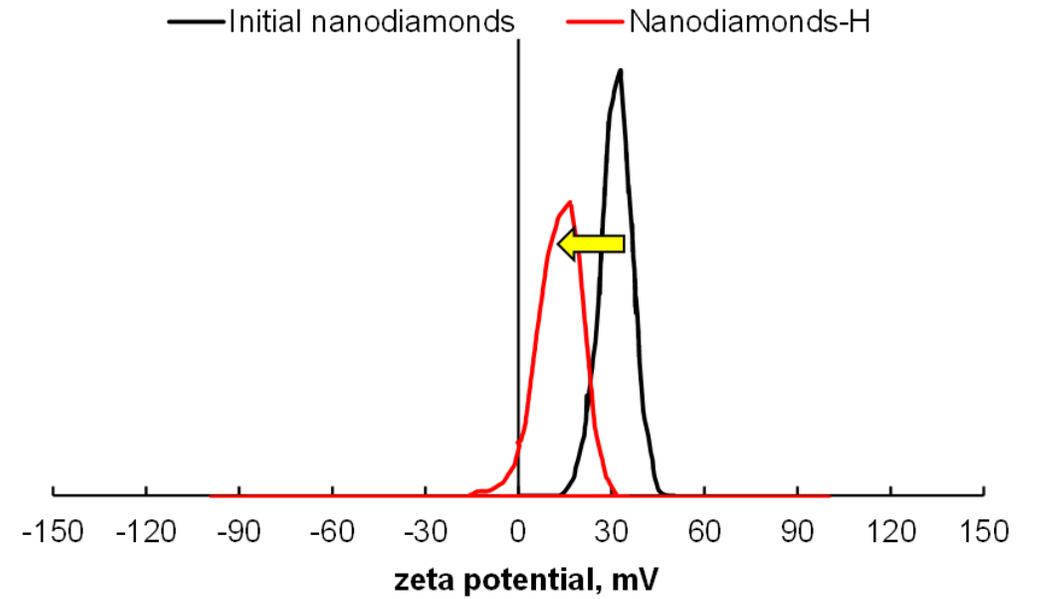
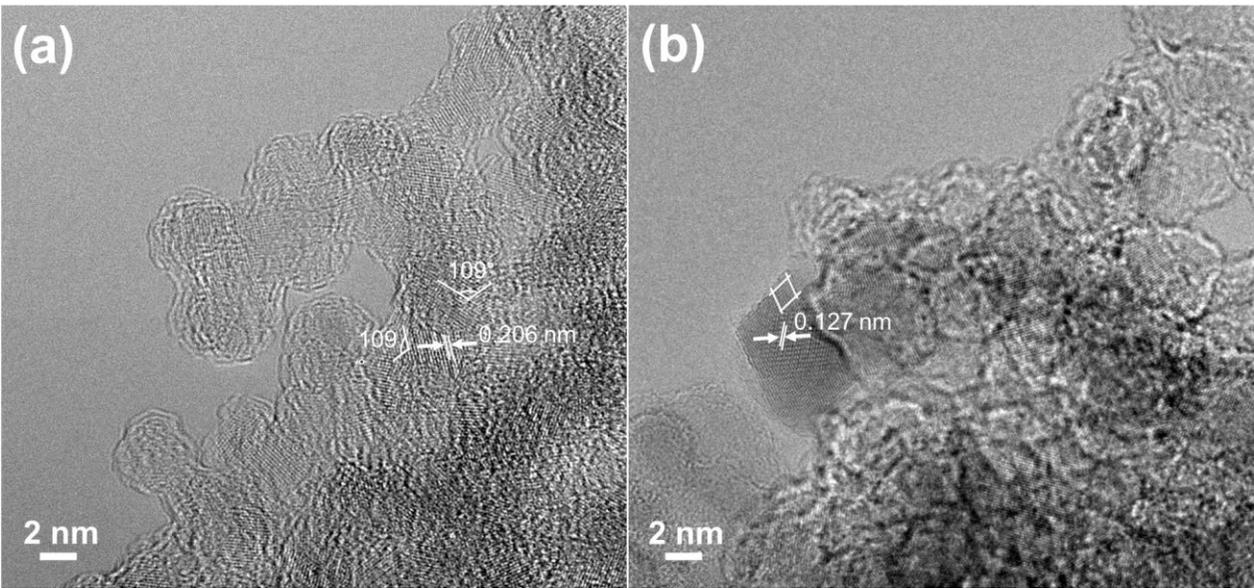
Что происходит на поверхности наноалмаза при взаимодействии с атомарным водородом (трением)?

Наноалмазы были подвергнуты обработке атомарным водородом (время обработки 4 мин)



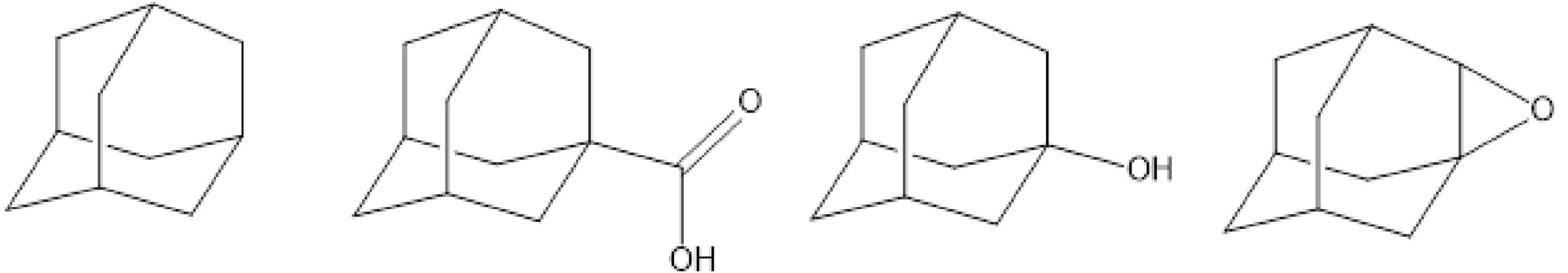
Как изменился функциональный состав поверхности наноалмазов?

Изменение физических свойств



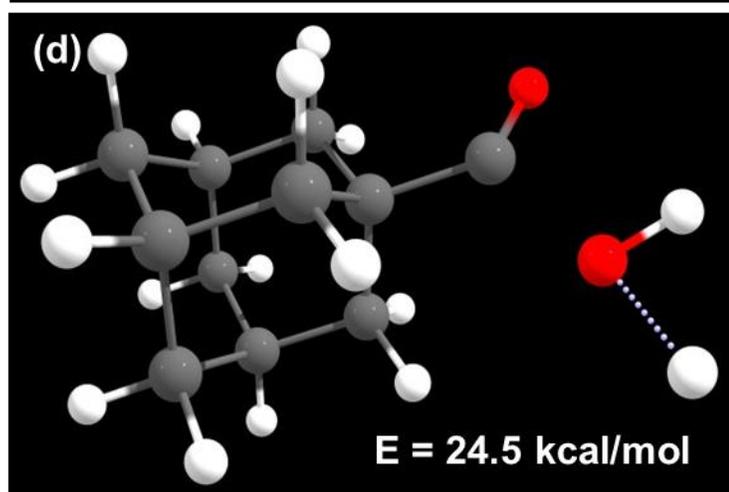
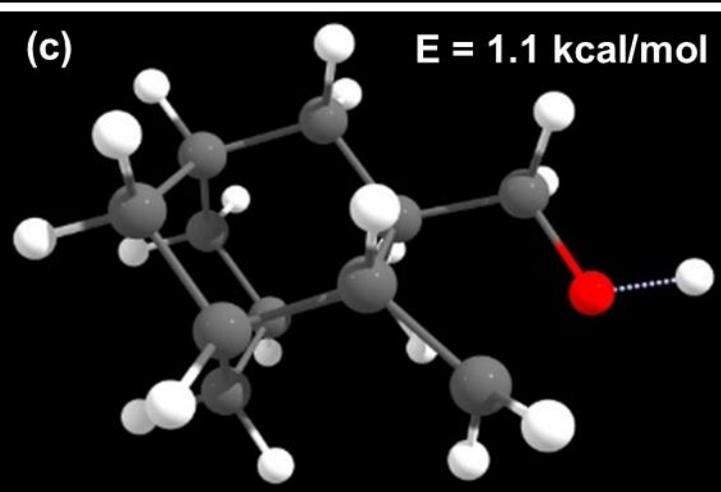
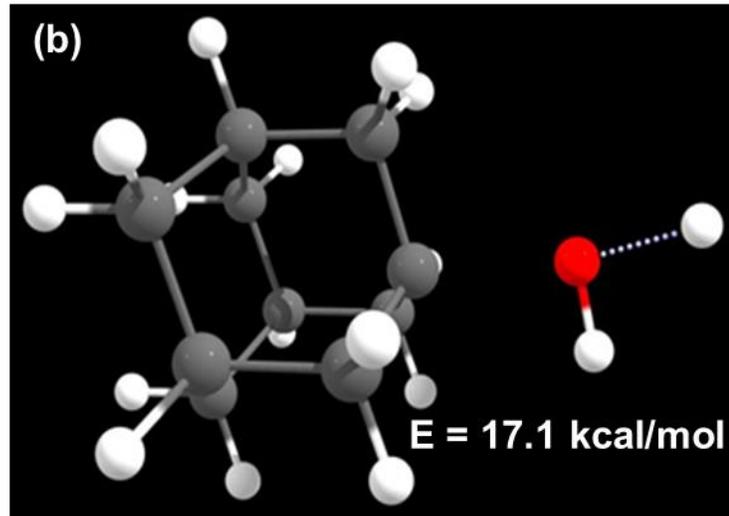
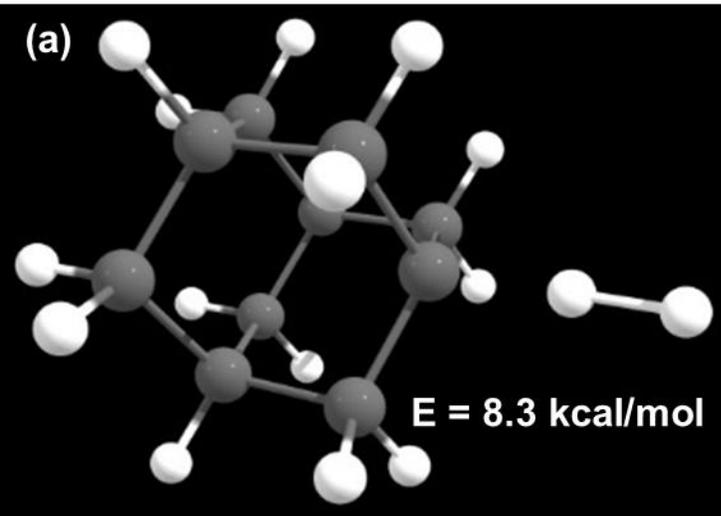
Моделирование взаимодействия атомарного водорода с наноалмазами

Производные адамантана использовались для моделирования наноалмазов:



Все расчеты производились в программе Orca. Для оптимизации геометрии исходных веществ использовался метод DFT с использованием гибридного функционала B3LYP и эмпирической дисперсионной поправки D4. Применяемый базисный набор - минимально дополненный базисный набор Карлсруэ та-def2-TZVP. Для нахождения переходного состояния и последующего расчета энергии активации полученные на предыдущем этапе оптимизированные структуры были использованы совместно с методом NEB и IRC.

Моделирование взаимодействия атомарного водорода с наноалмазами



Модель	E_{act} , ккал/моль	ΔG , ккал/моль
Адемантан	8.3	-15.5
Спирт	17.1	-24.5
Эфир	1.1	-26.7
Кислота	24.5	-12.7

Изменение функционального состава поверхности

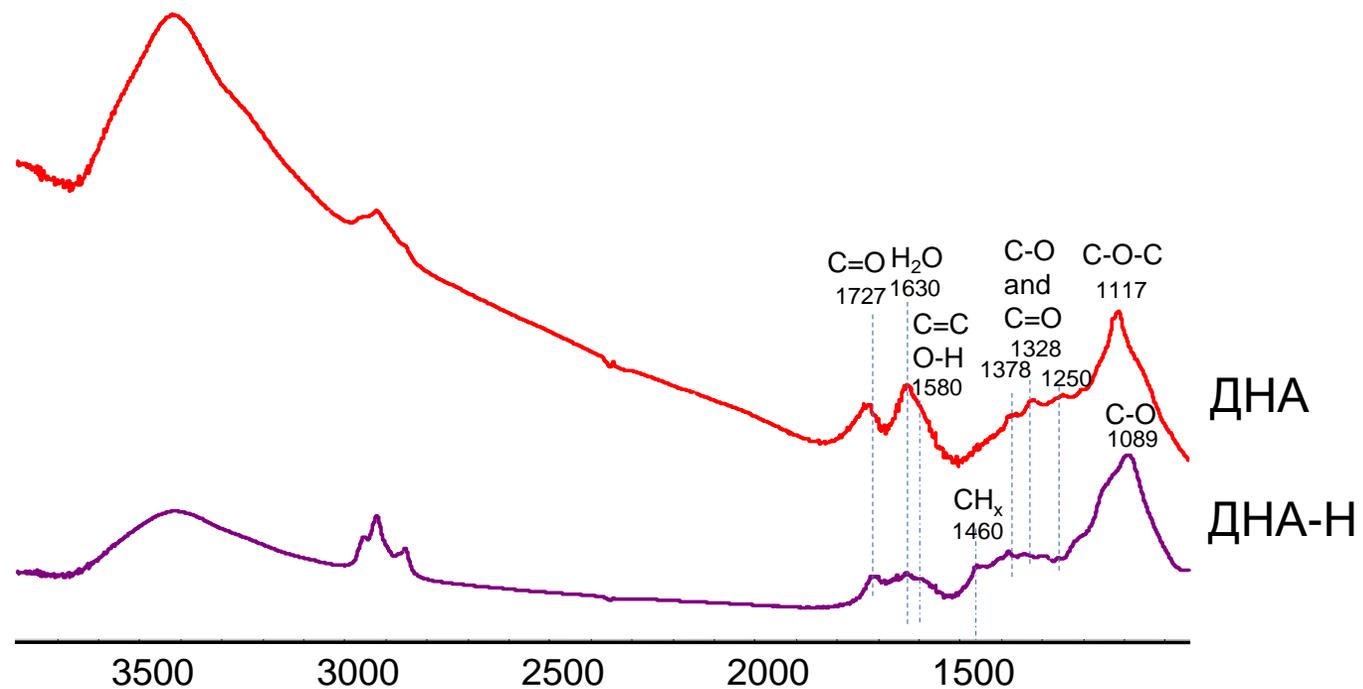
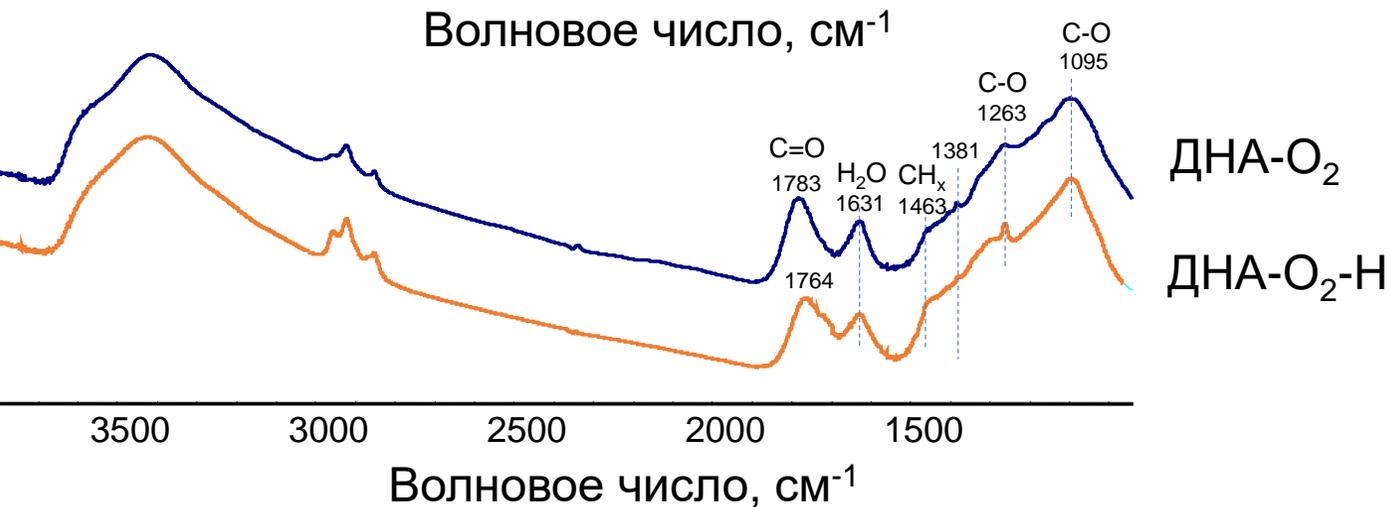
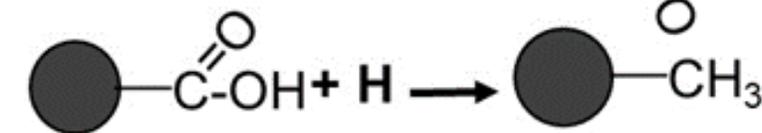
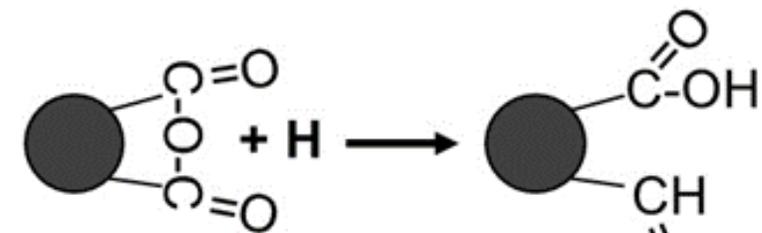
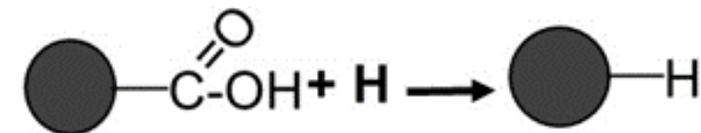
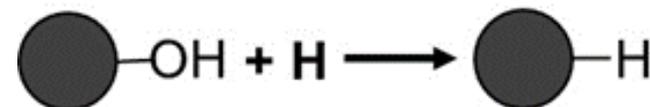
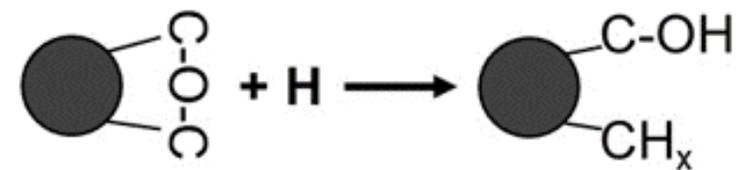
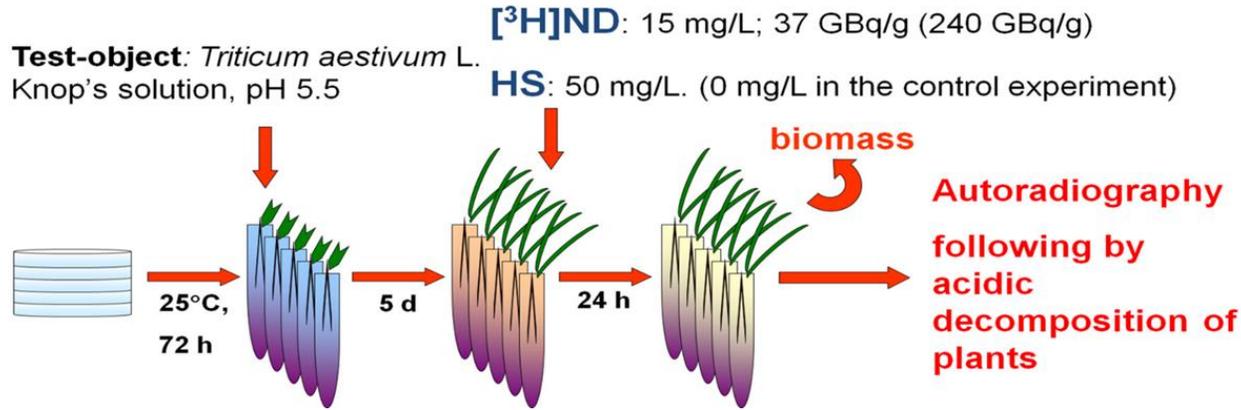


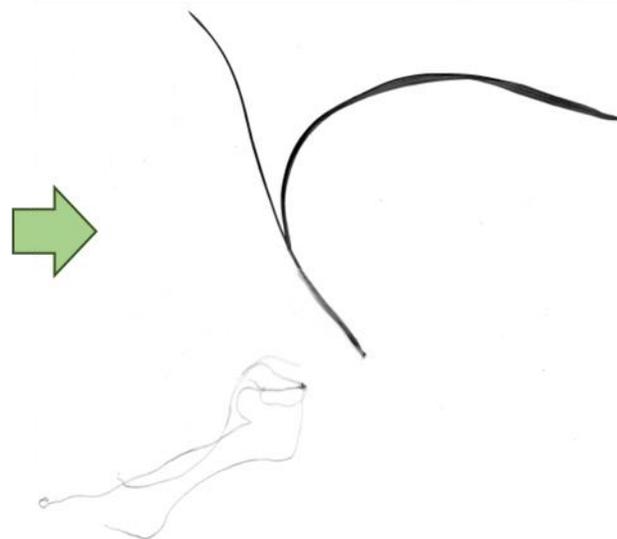
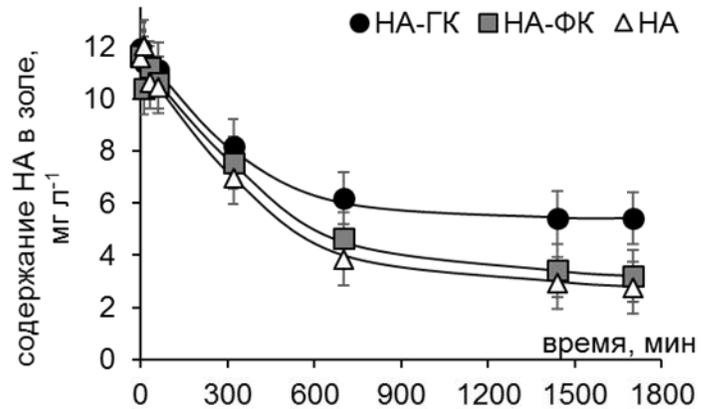
Схема возможных реакций



О токсичности нанодиазот. «Нанодиазоты в окружающей среде»



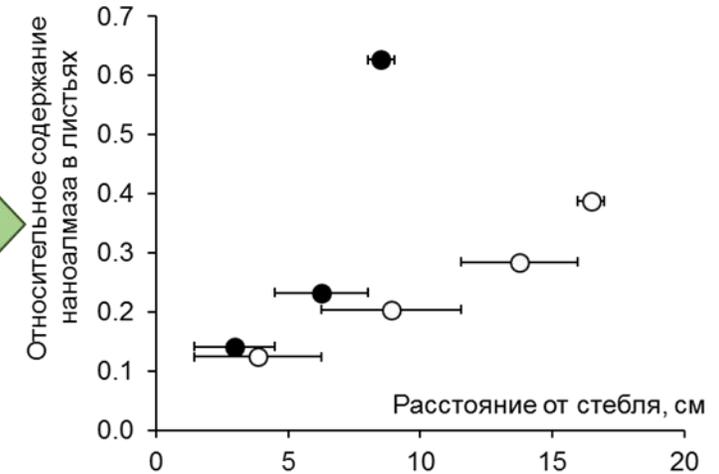
Изменение концентрации нанодиазотов в суспензии от времени контакта с растением



АРГ



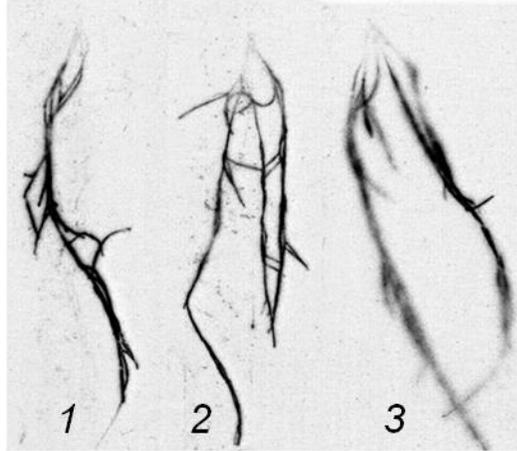
Распределение нанодиазотов в листьях



О токсичности наноалмазов.

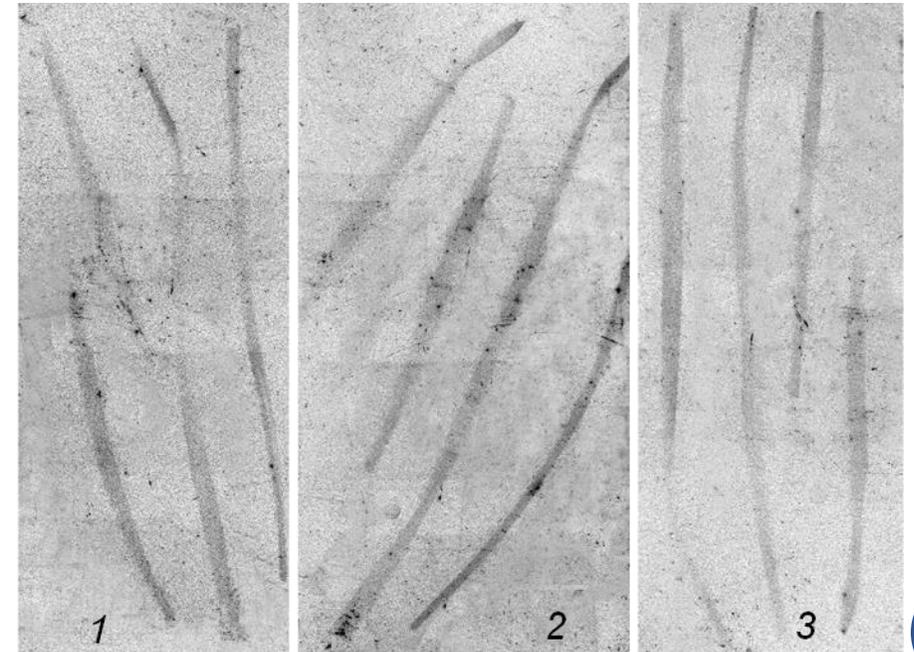
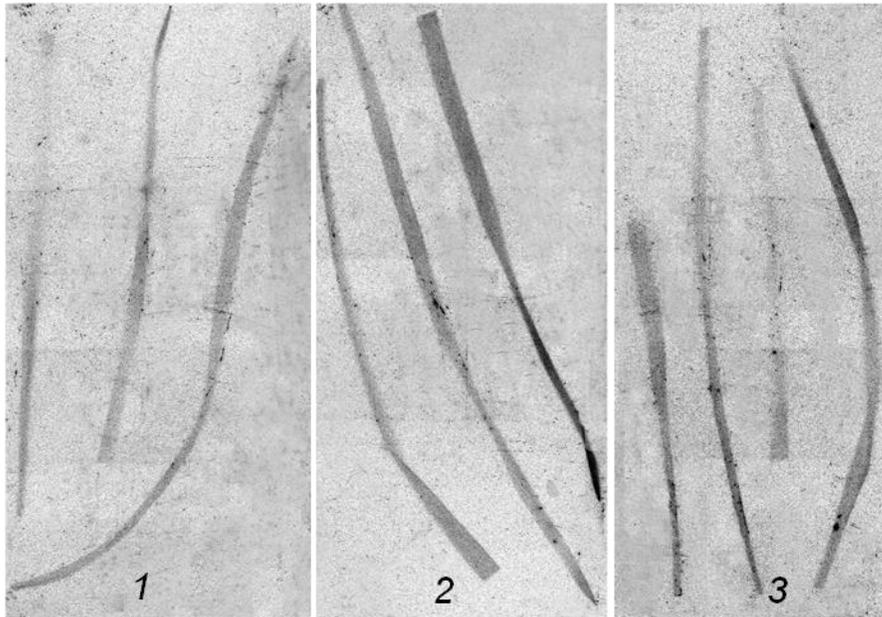
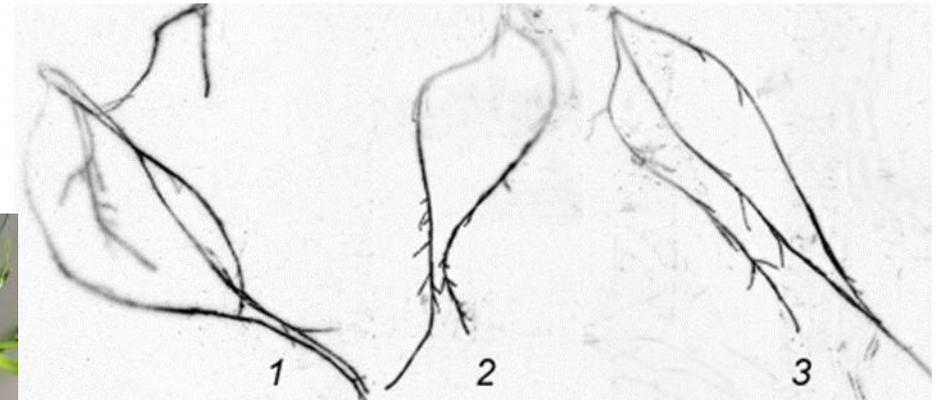
«Наноалмазы в окружающей среде»

«+»



1 - ДНА,
2 - ДНА -ГК 5 мг/л,
3 - ДНА -ГК 50 мг/л

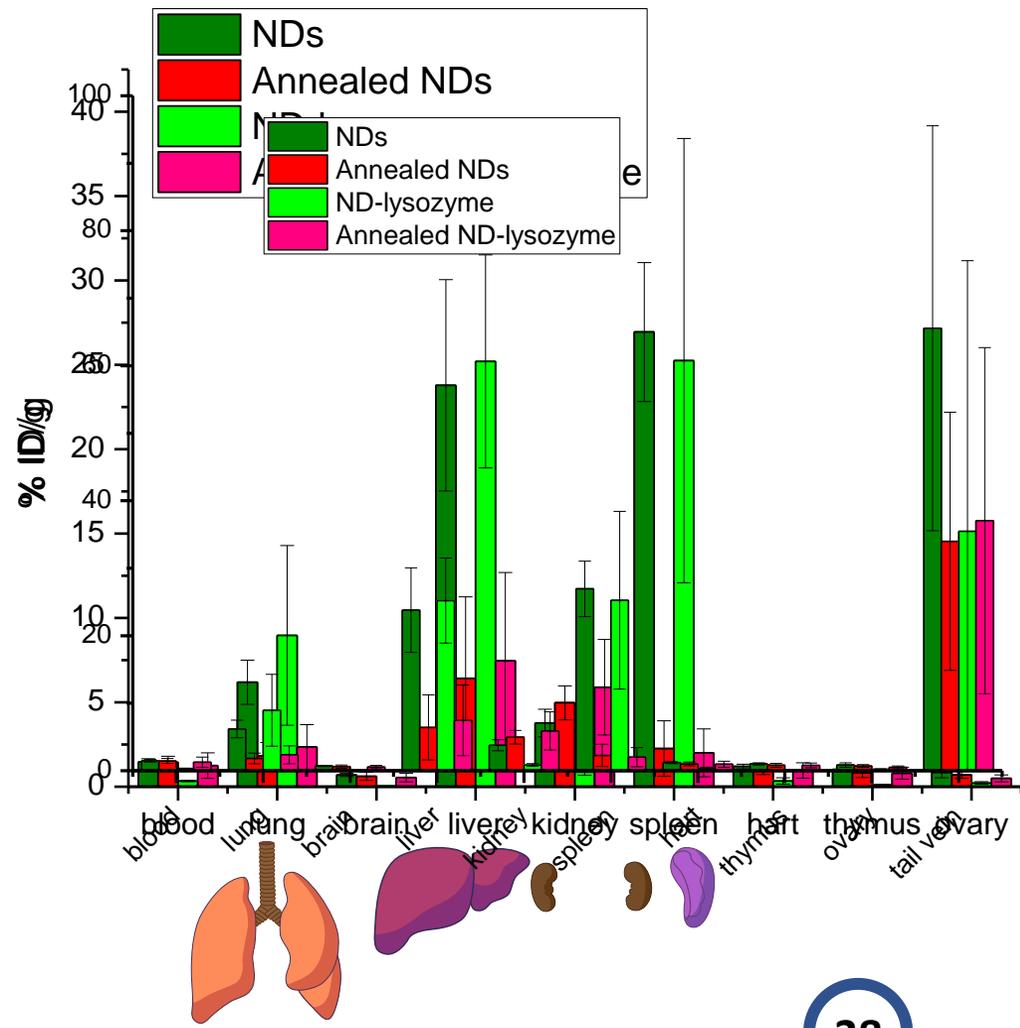
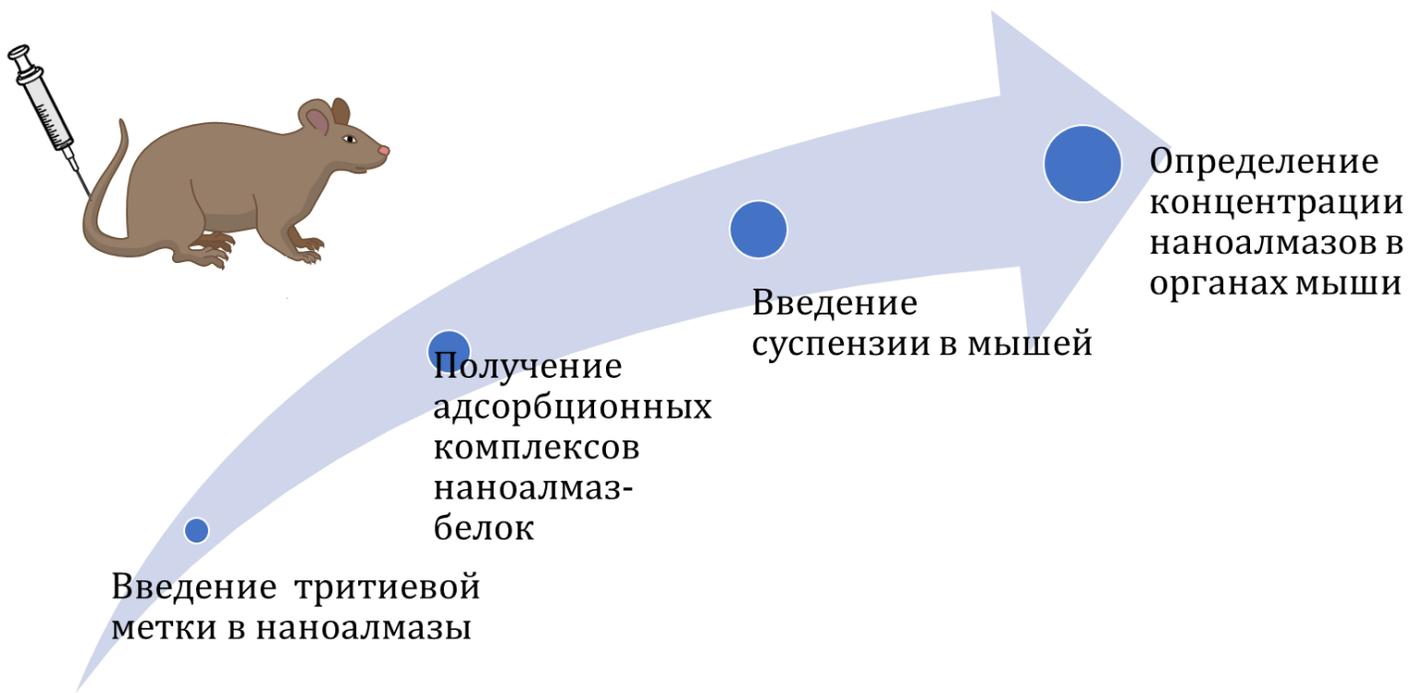
«-»



О токсичности наноалмазов. «Наноалмазы в окружающей среде»

Содержание наноалмазов и комплексов в частях растений			
Наноалмаз	Орган растения	Содержание [³ H]ДНА, мкг/г	
		ДНА	ДНА-О
не модифицированный	корень	1143 ± 297	384 ± 67
	побег	16 ± 2	15 ± 3
	листья	17 ± 4	14 ± 3
ДНА + ГК 5 мг/л	корень	583 ± 117	537 ± 94
	побег	13 ± 1	12 ± 2
	листья	18 ± 4	9 ± 1
ДНА + ГК 50 мг/л	корень	523 ± 142	339 ± 69
	побег	12 ± 1	7 ± 2
	листья	14 ± 3	7 ± 1

Биораспределение наноалмазов в органах ЖИВОТНЫХ



Наноалмаз - сорбент

Образование адсорбционных комплексов с поверхностно-активными веществами

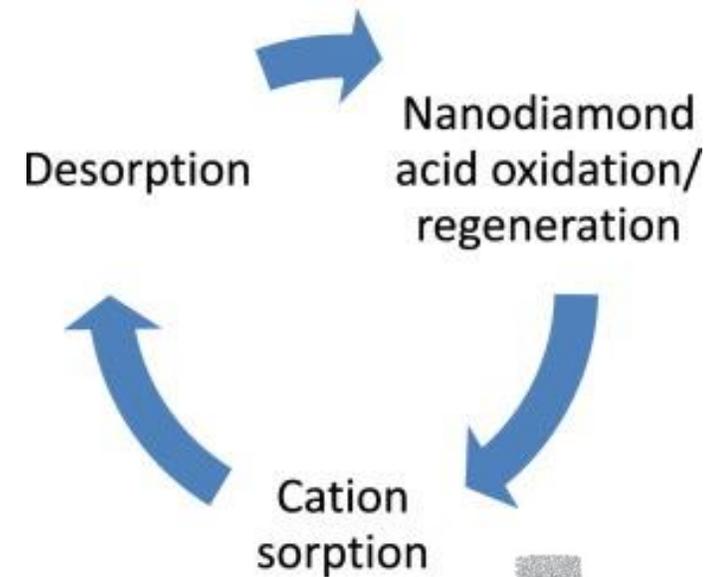
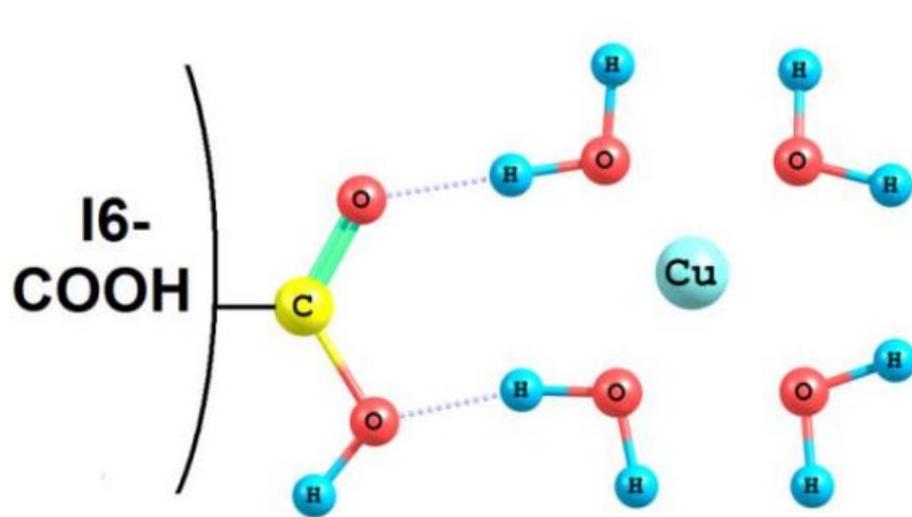


Образование адсорбционных комплексов с биополимерами (белки, ДНК, РНК, гуминовые вещества и др.)

Образование адсорбционных комплексов с лекарственными веществами (доксорубицин, амикацин, мирамистин и др.)

Наноалмаз - сорбент

Сорбция катионов металлов на поверхности наноалмазов



JOURNAL OF NANO- AND ELECTRONIC PHYSICS
Vol. 5 No 4, 04031(3pp) (2013)

ЖУРНАЛ НАНО- ТА ЕЛЕКТРОННОЇ ФІЗИКИ
Том 5 № 4, 04031(3сс) (2013)

Short Communication

Mechanisms of Ions Adsorption by Nanodiamonds in Aqueous Suspensions

K.A. Laptinskiy¹, S.A. Burikov¹, T.V. Laptinskaya¹, J.M. Rosenholm², O.A. Shenderova³,
I.I. Vlasov⁴, T.A. Dolenko¹



Diamond and Related Materials
Volume 110, December 2020, 108121

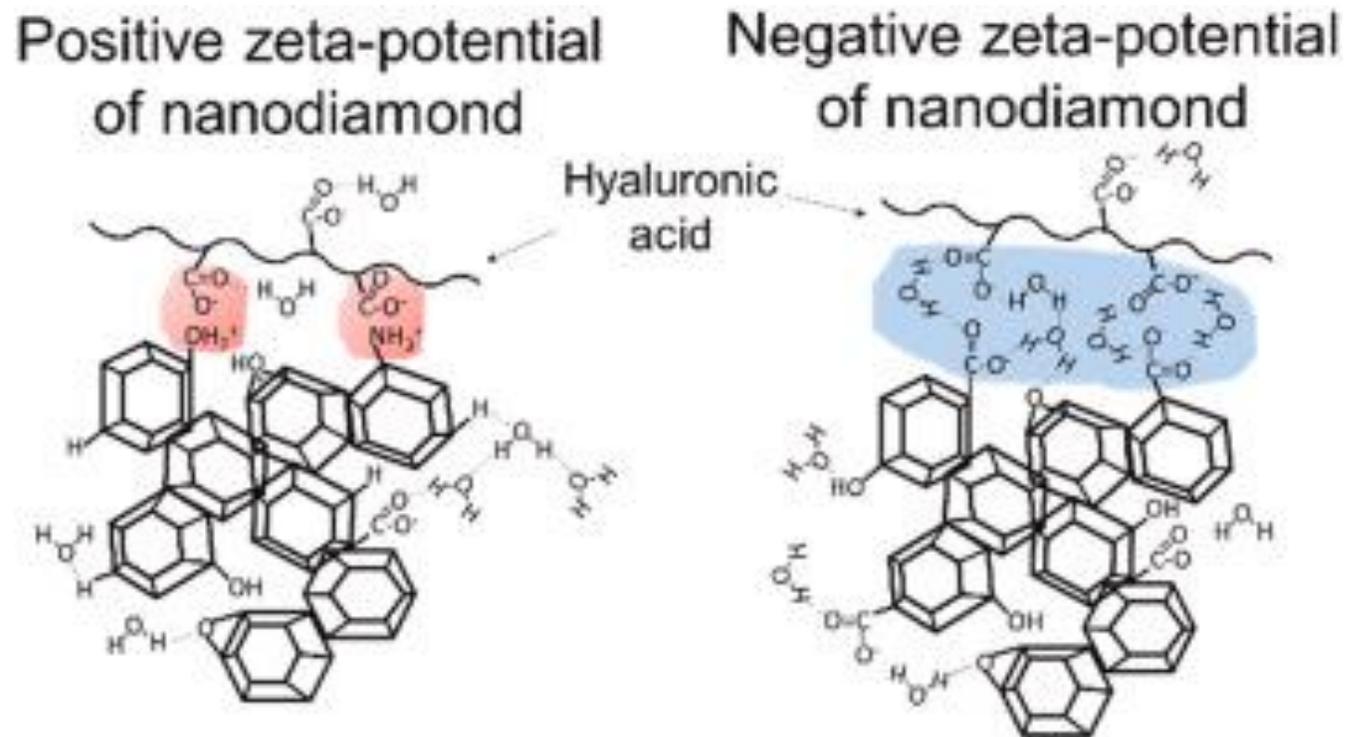


Pristine detonation nanodiamonds as
regenerable adsorbents for metal
cations

Dmitry S. Volkov · Petr K. Krivoshein · Ivan V. Mikheev · Mikhail A. Proskurnin

Наноалмаз - сорбент

Образование адсорбционных комплексов с биополимерами (белки, ДНК, РНК, гуминовые вещества и др.)



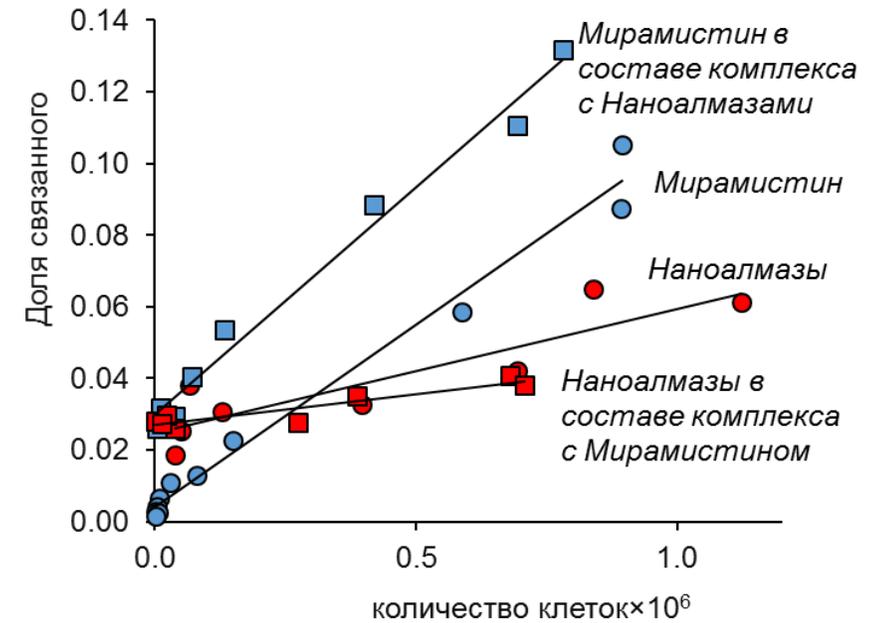
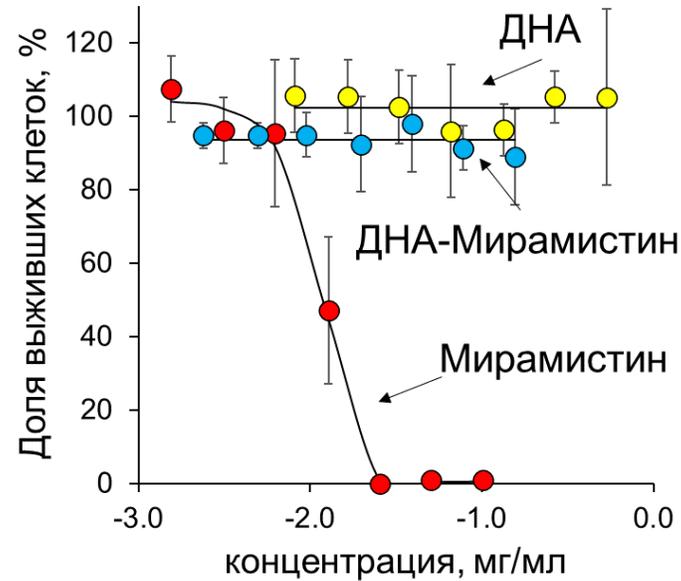
Colloids and Surfaces A: Physicochemical
and Engineering Aspects
Volume 618, 5 June 2021, 126461



Hyaluronic acid adsorption on
nanodiamonds: Quantitative
characteristics and mechanism

Наноалмаз - мирамистин

Связывание наноалмазов с клетками аденокарциномы молочной железы MCF-7/R



КОМПОНЕНТ	Эффективность связывания, 1/млн клеток
Наноалмазы	0.035±0.007
Наноалмазы в составе комплекса с мирамистином	0.017±0.003
Мирамистин	0.127±0.007
Мирамистин в составе комплекса с наноалмазом	0.102±0.004



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

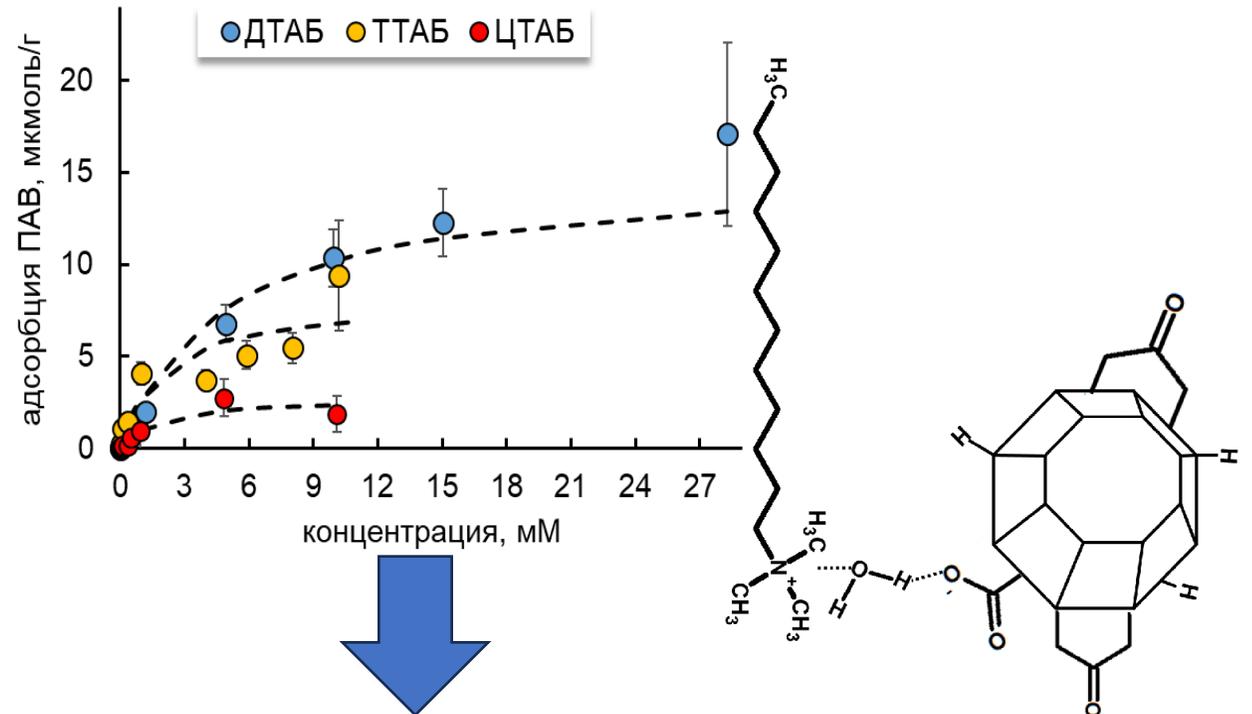
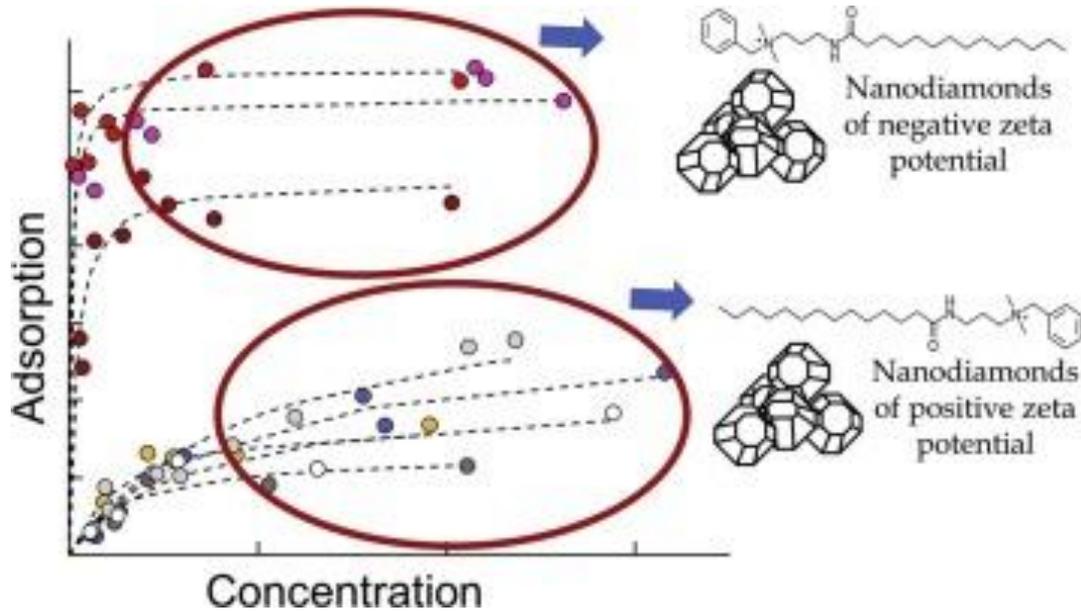
Mendeleev Commun., 2017, 27, 421–423

Mendelev
Communications

Reduction of cytotoxicity of Myramistin
by adsorption on nanodiamonds

Maria G. Chernysheva,^{a,*} Nikolay S. Melik-Nubarov,^a Irina D. Grozdova,^a
Ivan Yu. Myasnikov,^{a,b} Vadim N. Tashlitsky^a and Gennadii A. Badun^a

Наноалмаз - мирамистин



Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects
Volume 565, 20 March 2019, Pages 25-29

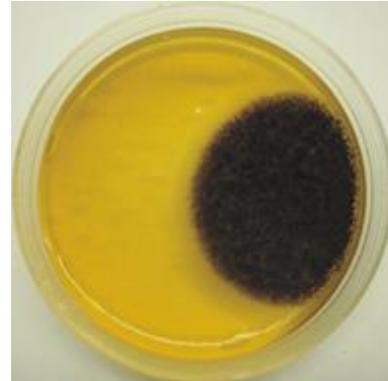
Cationic surfactant coating nanodiamonds: Adsorption and peculiarities

Maria G. Chernysheva, Andrey G. Popov, Vadim N. Tashlitsky, Gennadii A. Badun

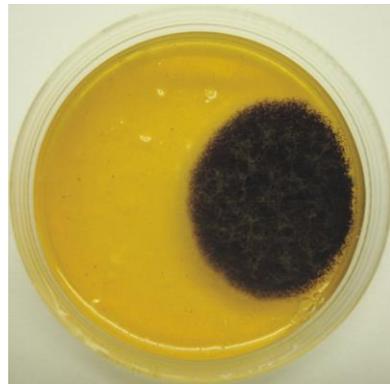
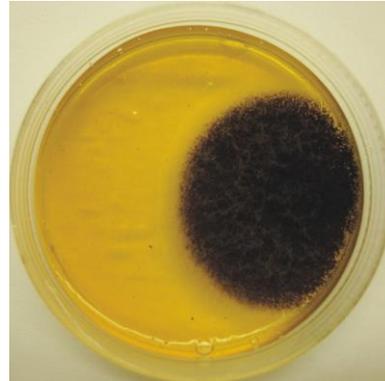
Потеря антимикробных свойств после адсорбции на наноалмазах

Влияние модифицированных наноалмазов на рост *Aspergillus niger*

Контроль



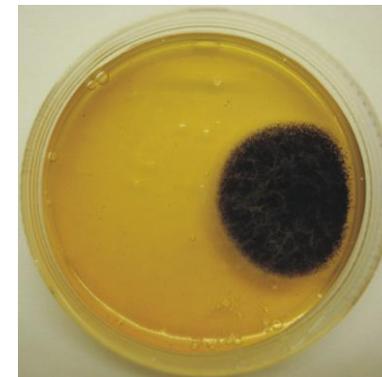
Контроль (ГК)



ДНА-ГК +
Мирамистин 14мг/л

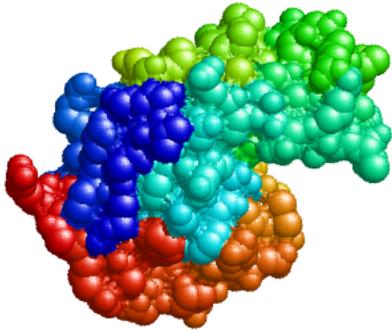


ДНА-ГК +
Мирамистин 45мг/л



ДНА-О₂-ГК +
Мирамистин 45мг/л

Одно из решений проблемы – модификация поверхности нанодiamondов

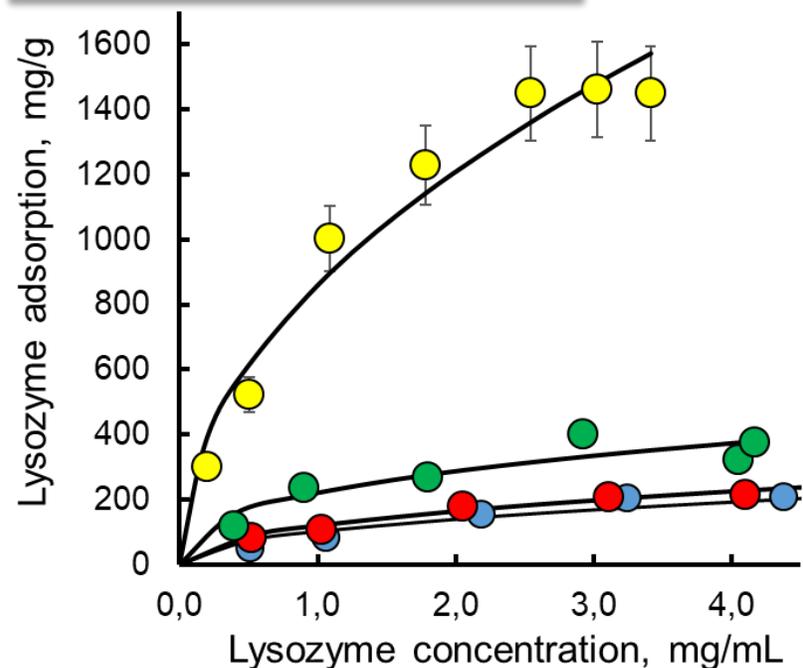
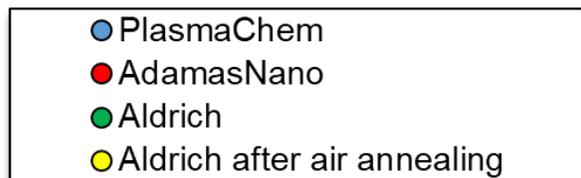


лизоцим белка куриного яйца

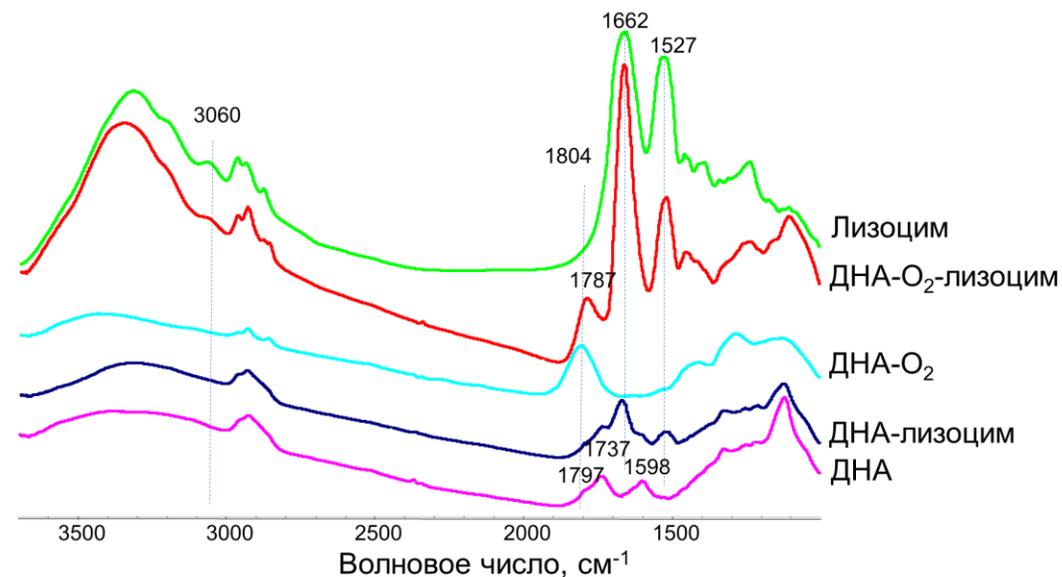
Белок	pI	M, кДа	число остатков	заряд
ЛИЗОЦИМ	11	14,3	129	+8

Лизоцим — антибактериальный агент, фермент класса гидролаз, разрушающий клеточные стенки бактерий гидролизом пептидогликана

Модификация поверхности наноалмазов ЛИЗОЦИМОМ

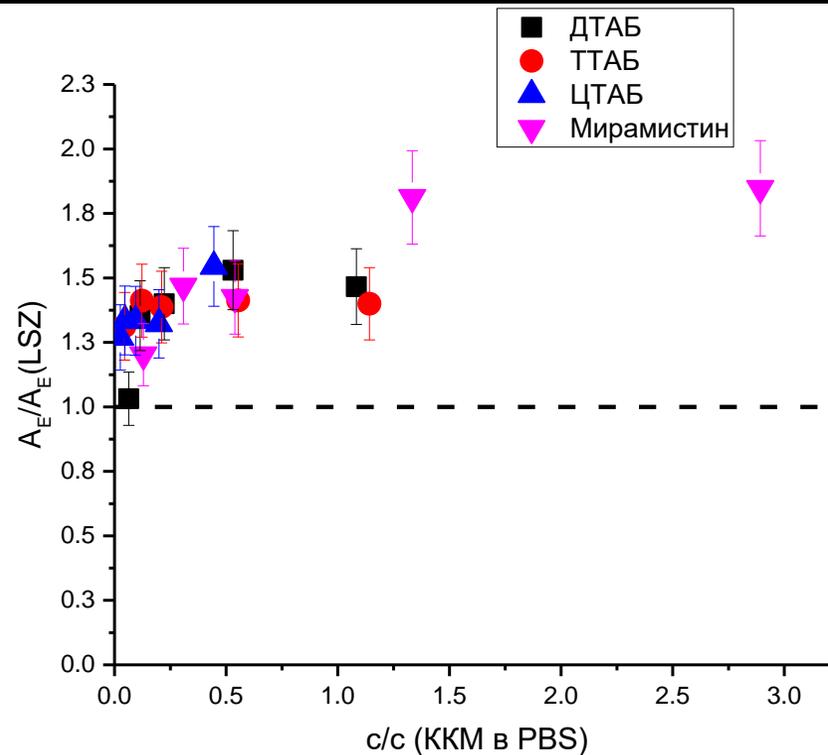
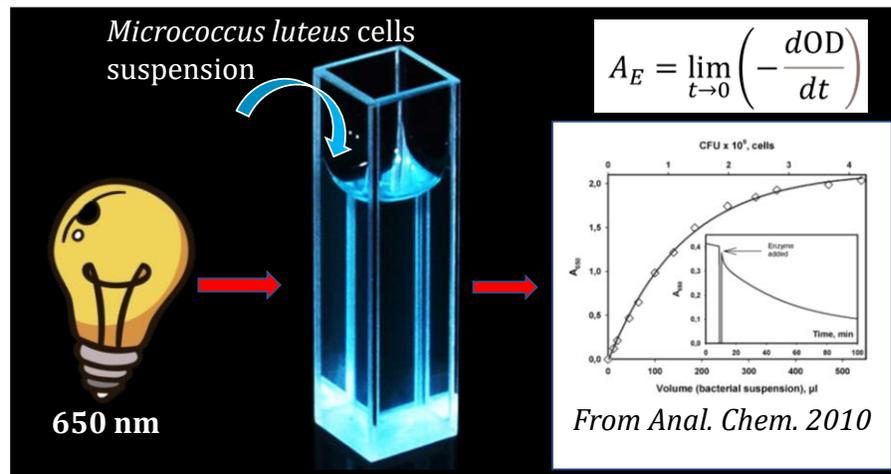
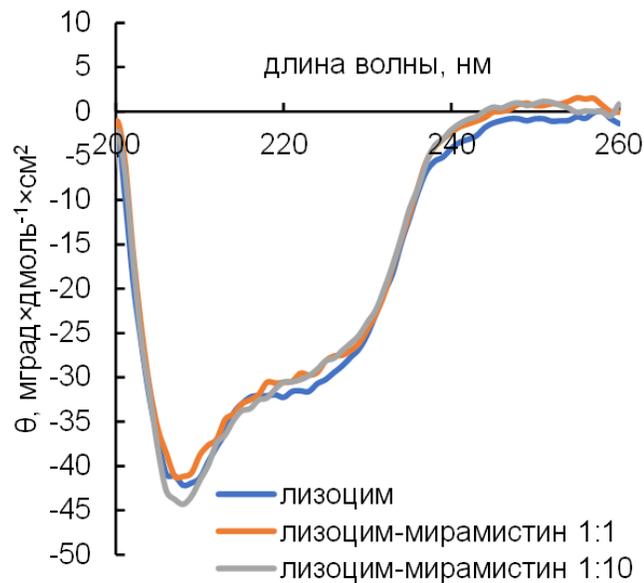
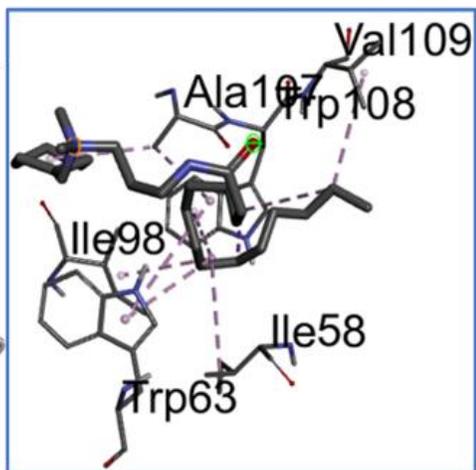
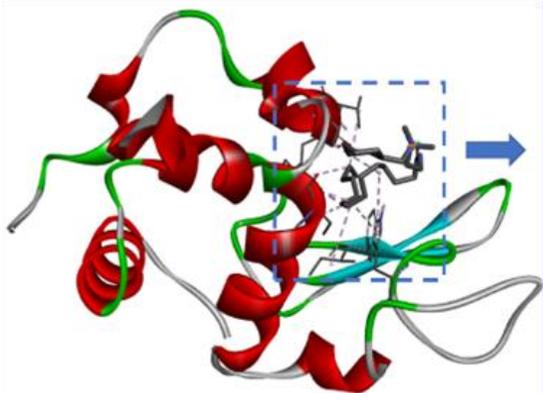


наноалмазы	Количество лизоцима мг/г (по методу радиоактивных индикаторов)	Количество лизоцима мг/г (по ферментативной активности)
(+)	1400	170±80
(-)	250	150±60



Лизоцим-мирамистин

Мирамистин



Антимикробная активность комплекса наноалмаз-лизоцим-мирамистин по отношению к золотистому стафилококку (*Staphylococcus aureus*)

«Адгезия»



«Выживаемость»

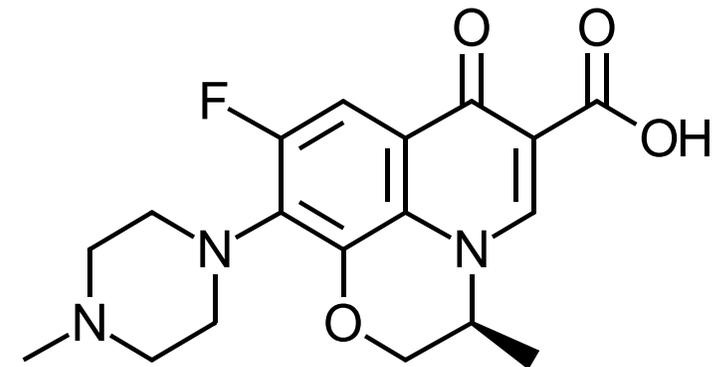
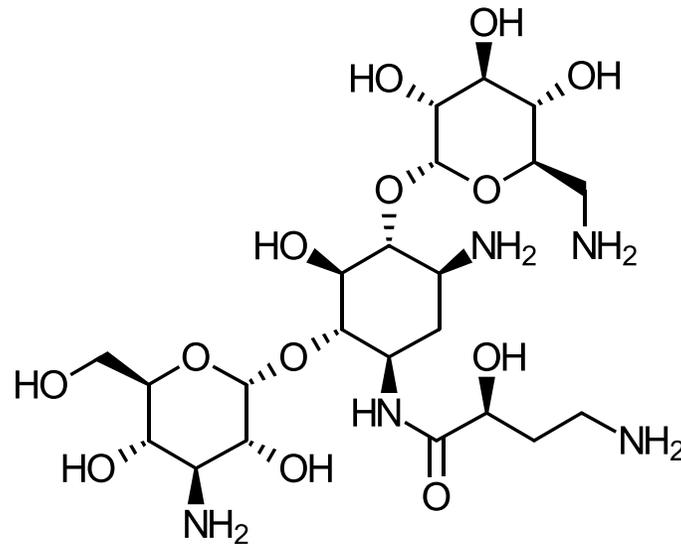
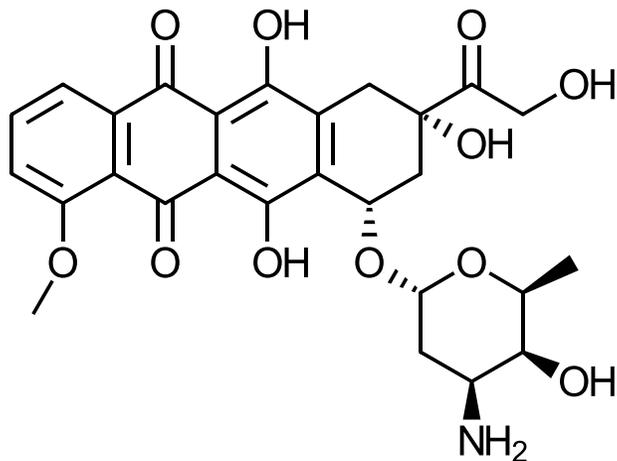


«адгезия» - инкубирование тест-объектов в суспензиях клеток в течение 4 часов, и «выживаемость» - бактерии, выжившие на исследуемых коллагеновых матрицах за 24 часа

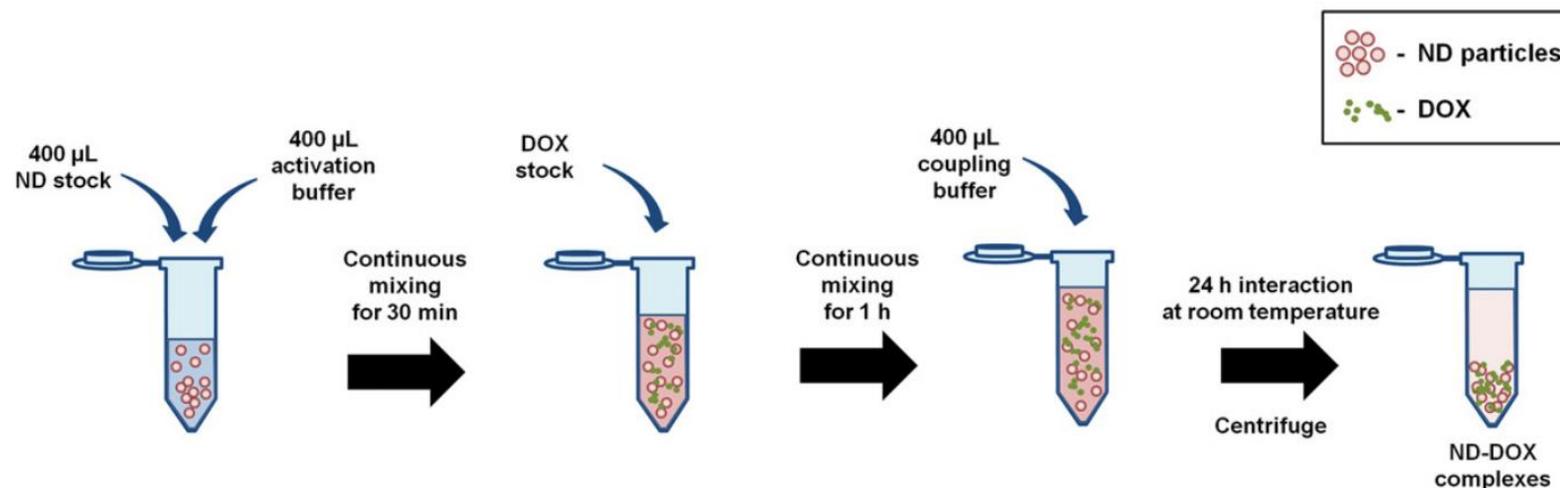
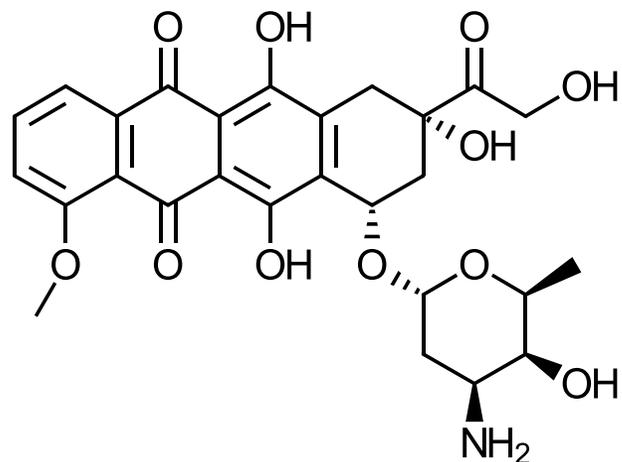
Слева показан контрольный образец - матрица без покрытия. 1 - SDND, 2 - SDND-лизоцим-мирамистин, 3 - ДНА, 4 - ДНА-лизоцим-мирамистин.

Наноалмаз - сорбент

Образование адсорбционных комплексов с лекарственными веществами (доксорубицин, амикацин, левофлоксацин)



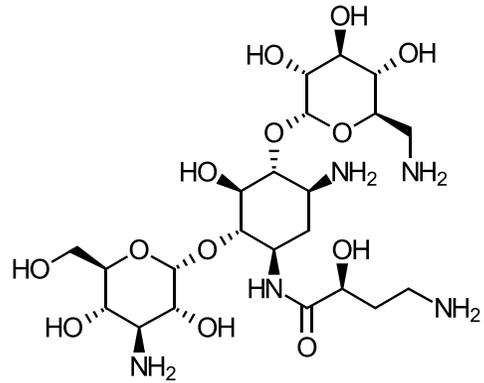
Наноалмаз – доксорубицин



Адсорбция доксорубицина на наноалмазах повышает его эффективность на 50%

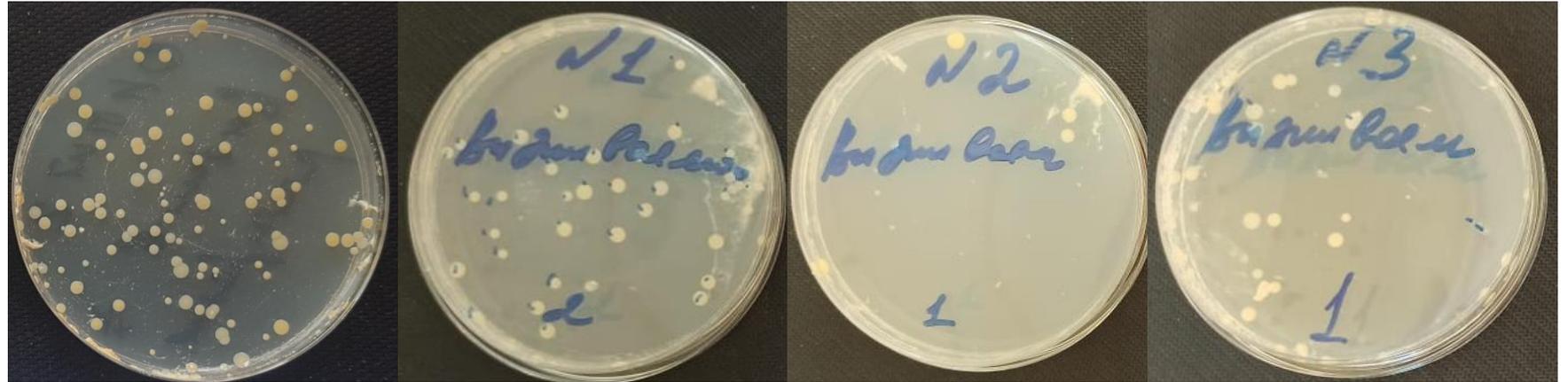
Nanodiamonds enhance therapeutic efficacy of doxorubicin in treating metastatic hormone-refractory prostate cancer

Наноалмаз – амикацин (левофлоксацин)



Амикацин

Адсорбция 99 мг/г

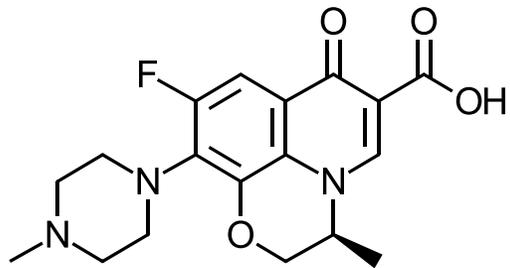


без покрытия

«отрицательные»
наноалмазы

наноалмазы-
амикацин

наноалмазы-
левофлоксацин



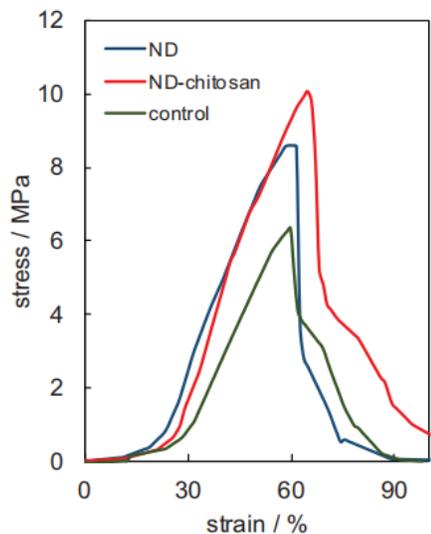
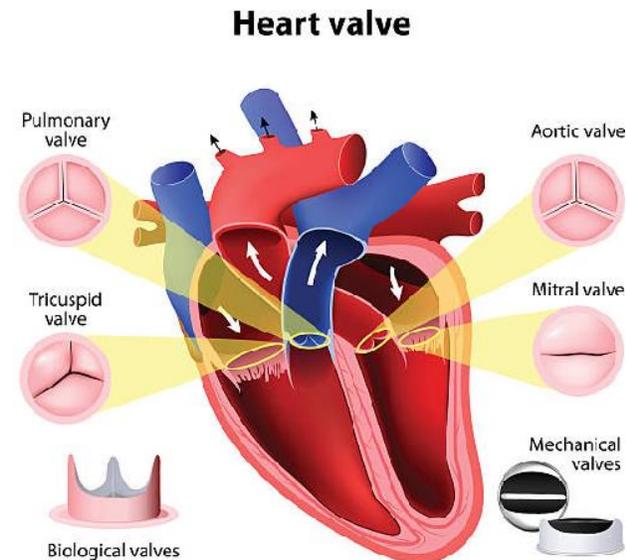
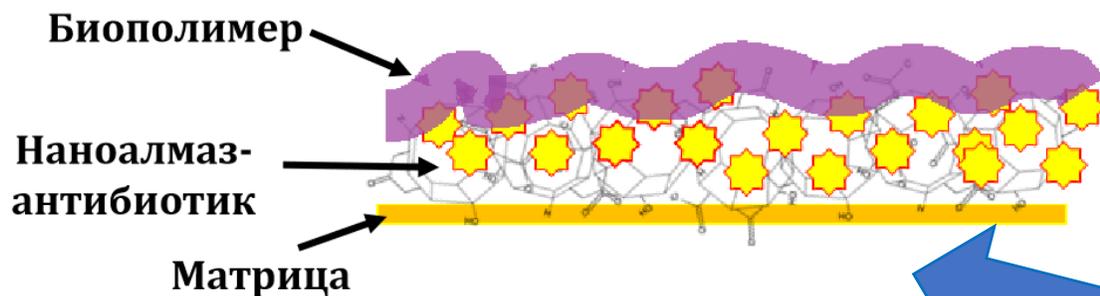
Левофлоксацин

Адсорбция 149 мг/г

Покрытие	Без покрытия	наноалмазы	Комплекс с амикацином	Комплекс с левофлоксацином
Адгезия (lg (КОЕ))	5.0±0.2	3.0±0.1	2.5±0.1	2.9±0.1
Выживаемость (lg (КОЕ))	5.0±0.3	1.5±0.1	0.9±0.3	1.1±0.1

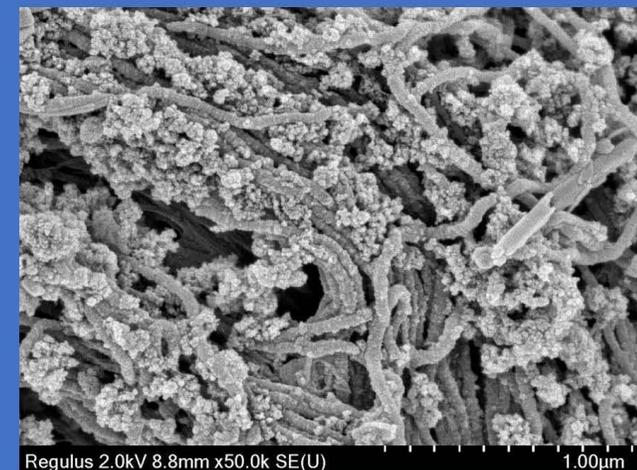
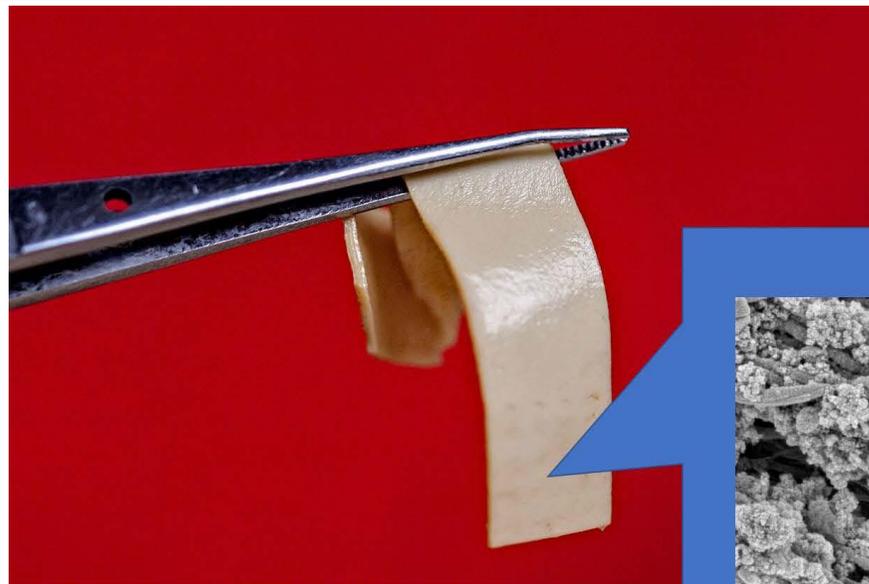
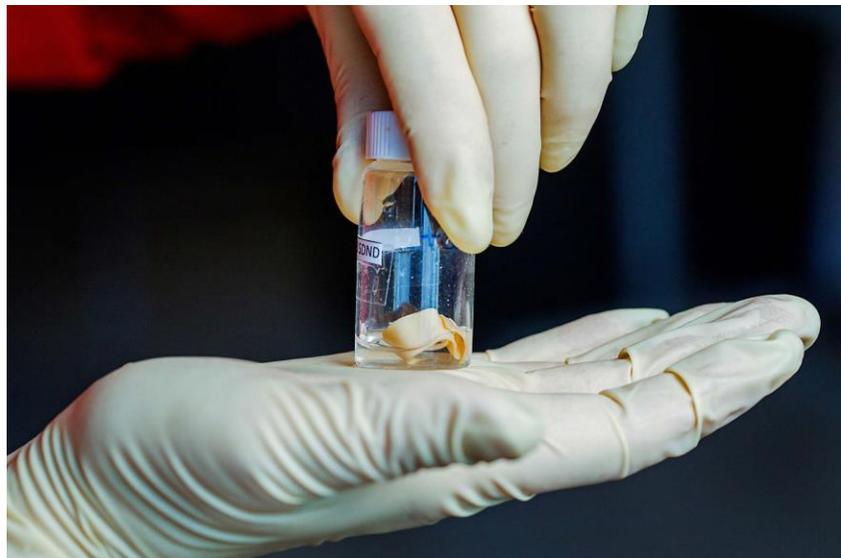


Где же это применить или одна из последних разработок МГУ и НМИЦ ССХ им. А. Н. Бакулева



Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, 28:4,
256-261, DOI: 10.1080/1536383X.2019.1697682
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and
Engineering Aspects 2023, 656
#130373, DOI:10.1016/j.colsurfa.2022.130373

Покрyтия ксеногенных протезов сердечного клапана



Коммерсантъ

Наука

09.03.2023, 00:02

Драгоценный протез

Наноалмазы укрепляют сердце и защищают его от микробов

Искусственные сердечные клапаны из коллагена можно насытить наноалмазами — и тогда они прослужат дольше и не будут подвержены микробным атакам.

Indicator

МЕДИЦИНА 14:03, 16 ОКТЯБРЯ 2023 3 МИН. - a A+

Вести с полей: российские ученые разработали антибактериальное покрытие для искусственного клапана сердца

Спасибо за внимание!

