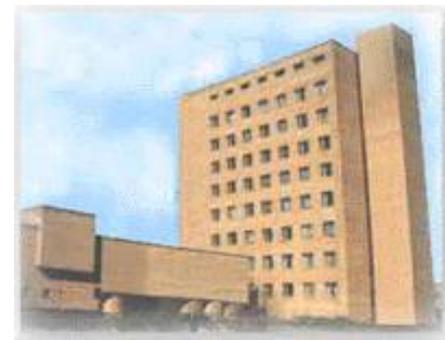


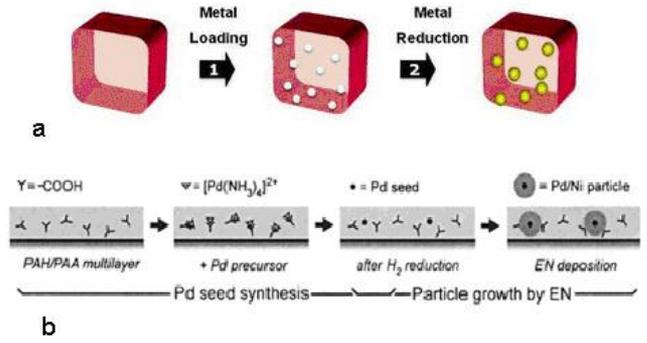
Радиационно-химический  
синтез биметаллических наночастиц в  
матрицах интерполиэлектролитных  
КОМПЛЕКСОВ



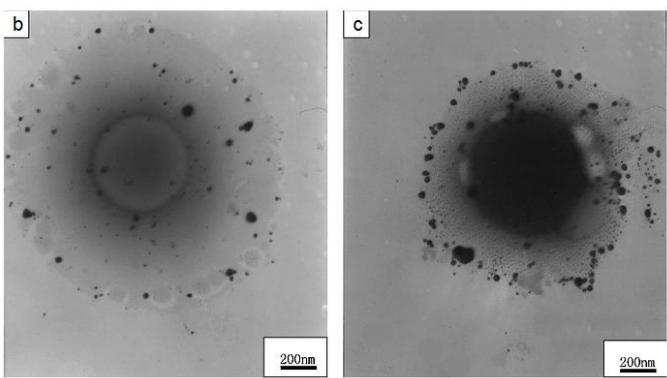
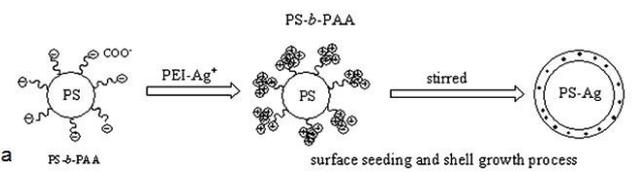
С.Б. Зезин, Д.А. Климов, Е. А. Зезина,  
В. И. Фельдман, С.С.Абрамчук  
С.Н. Чвалун, Я.В. Зубавичус



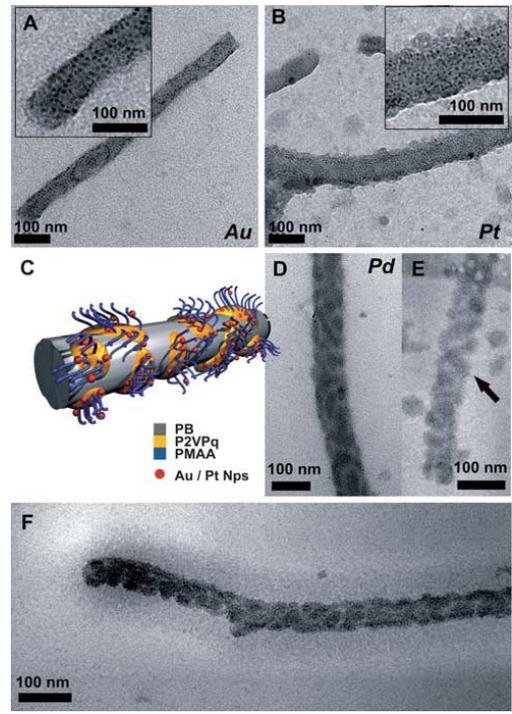
# Восстановление ионов металлов в полимерных матрицах



Ruiz P, Muñoz M, Macanás J, Turta C, Prodius D, Muraviev DN Dalton Trans (2010) 39:1751  
 Wang TC, Rubner MF, Cohen RE Chem Mater (2003) 15: 299

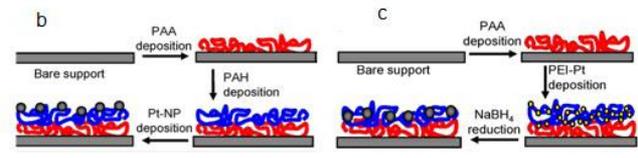
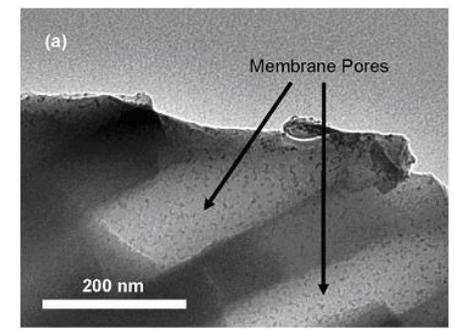


Lei Z, Wei X, Zhang L, Bi S Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects (2008) 317: 705–710

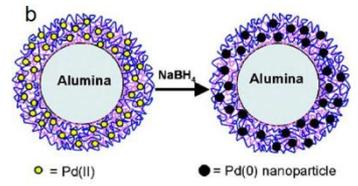
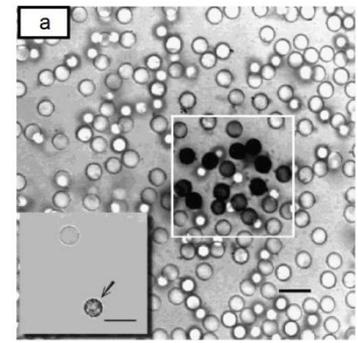


Schacher FH, Rudolph T, Drechsler M, Müller AHE Nanoscale (2011) 3:288

Antipov AA, Sukhorukov GB, Federik YA, Hartman J, Giersing M, Möhwald H Langmuir (2002) 18: 6687  
 Kidami S, Dai J, Li J, Bruening ML J Am Chem Soc (2004) 126: 2658

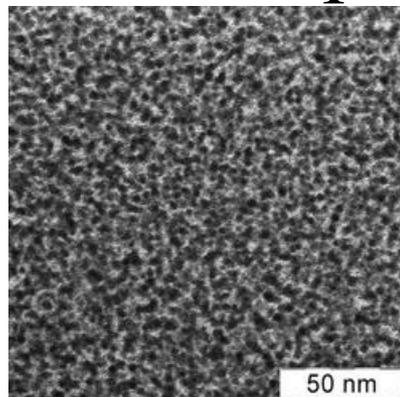
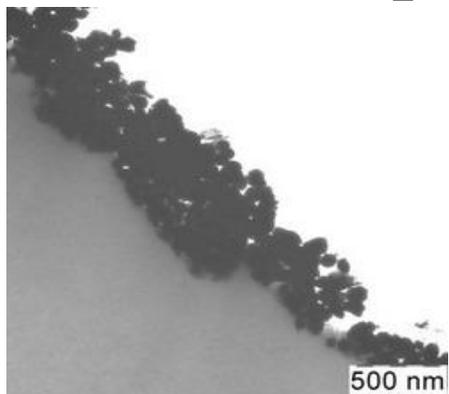


Dotzauer DM, Abusaloua A, Miachon S, Dalmon J-A, Bruening ML Appl Catal B Environ (2009) 91:180



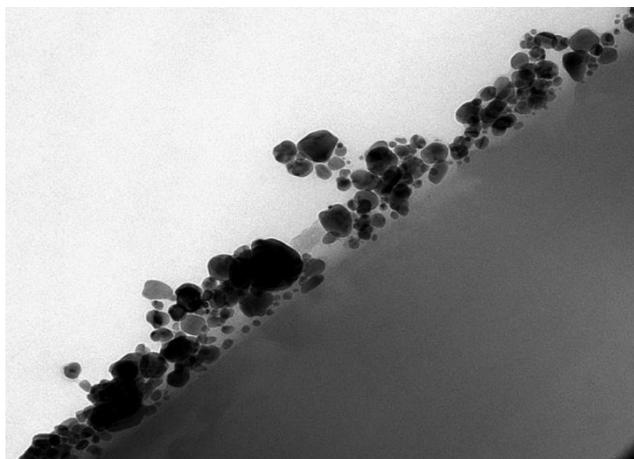
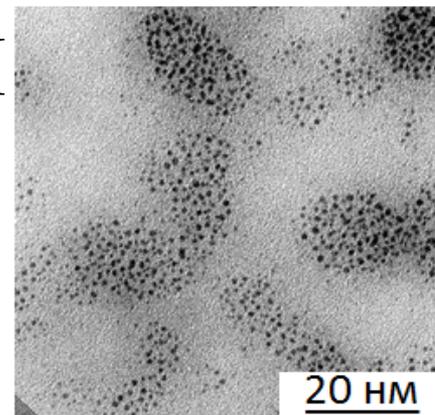
○ = Pd(II)      ● = Pd(0) nanoparticle

# Интерполиэлектролитные комплексы



ПАК-ПЭИ

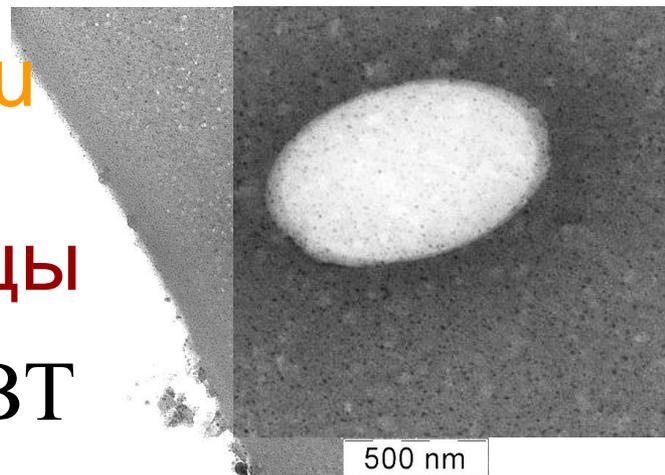
Au



ПАК-ПЭИ Cu

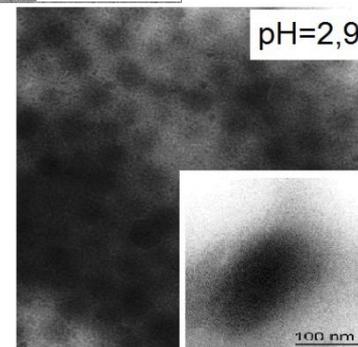
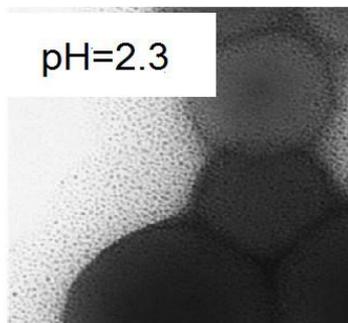
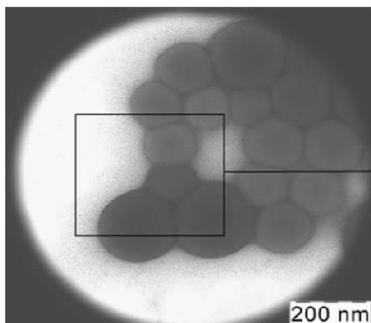
Роль матрицы

ПАК-ПВТ



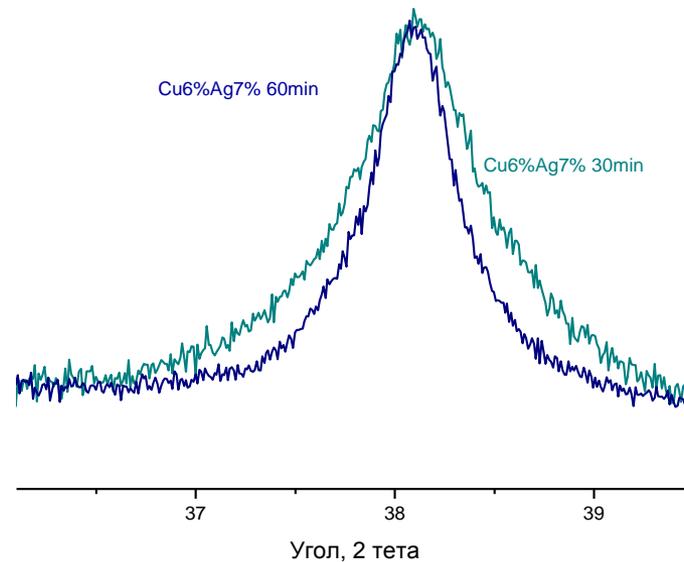
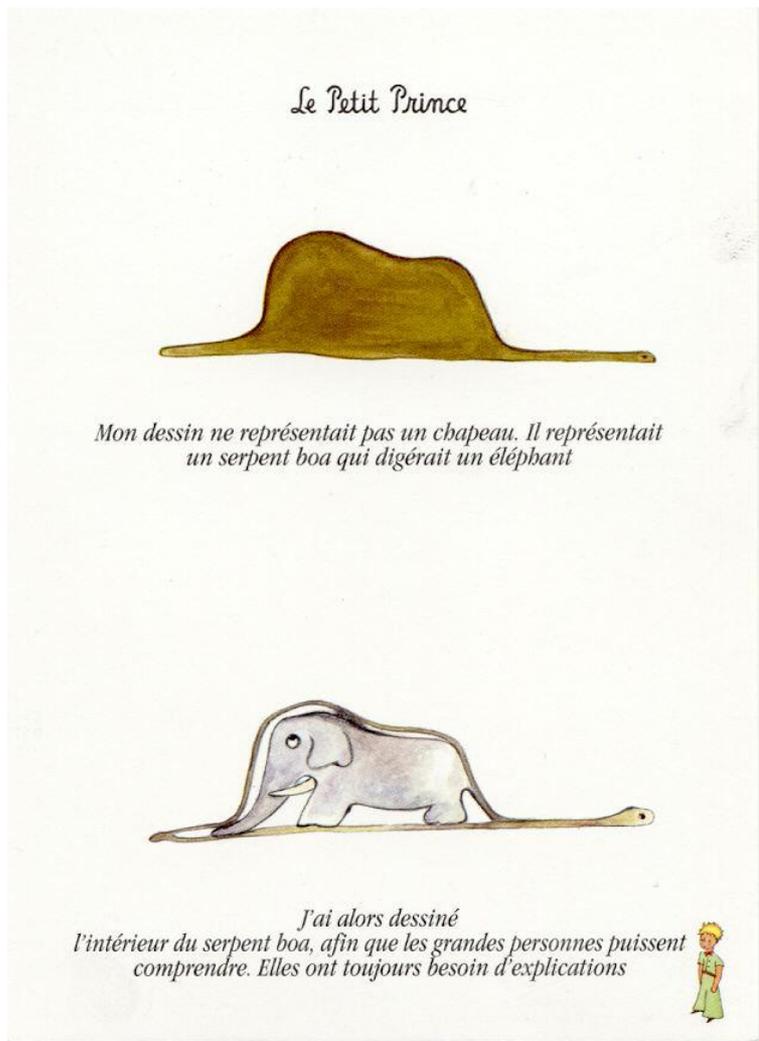
Суспензии Cu

Полиакриловая кислота  
Поливинилимидазол  
0.05 М ПАК 0.05 М ПВИМ  
0.02 М  $\text{Cu}^{2+}$  pH=2.9



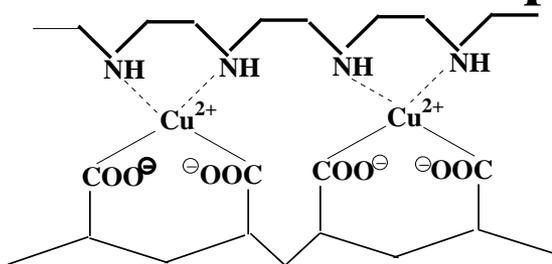
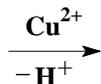
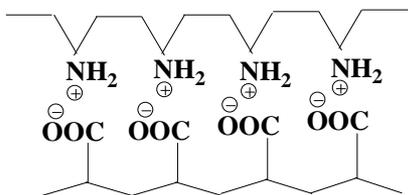
# Биметаллические наночастицы - как они получаются?

Д.А. Климов С.Б. Зезин

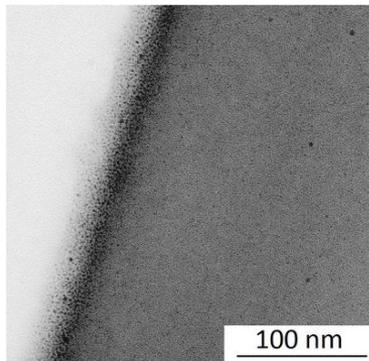


# ИНТЕРПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

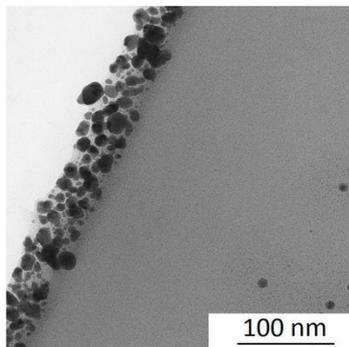
## Сорбционные характеристики пленок ИПЭК



Время облучения  
15 мин



Время облучения  
60 мин



Metal	Sorption, wt., %
Cu (2+)	27
Co (2+)	20
Ni (2+)	20
Fe (2+)	6
Ag (+)	22

☞ могут содержать относительно большие количества ионов металлов, концентрацию ионов легко варьировать в подобных полимерных системах

☞ ограниченно набухают в воде, проницаемы для низкомолекулярных соединений

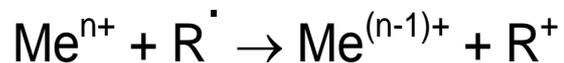
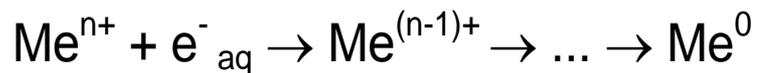
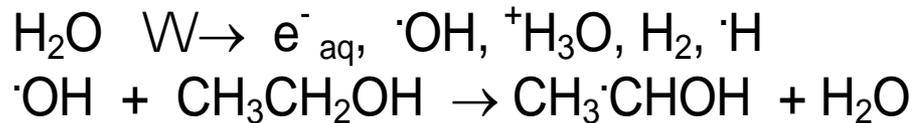
☞ стабилизируют металлические наночастицы

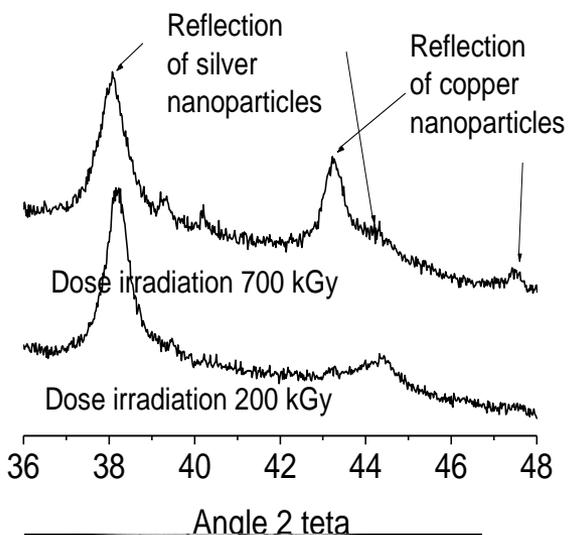
# Пленки комплексов, набухшие в водно-спиртовой среде

Коэффициент набухания  
пленок – 40%, толщина пленок  
0.1 – 0.3 мм

Облучение образцов при температуре 23°C в отсутствие кислорода  
воздуха

## Рентгеновское облучение

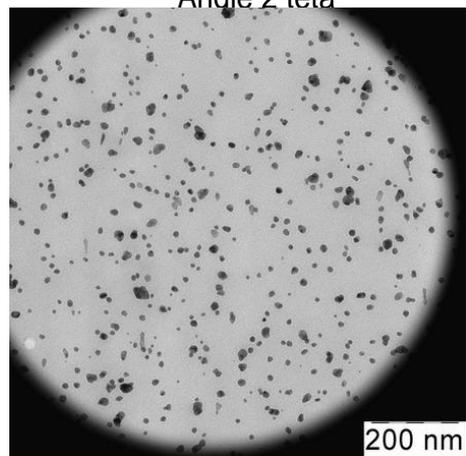




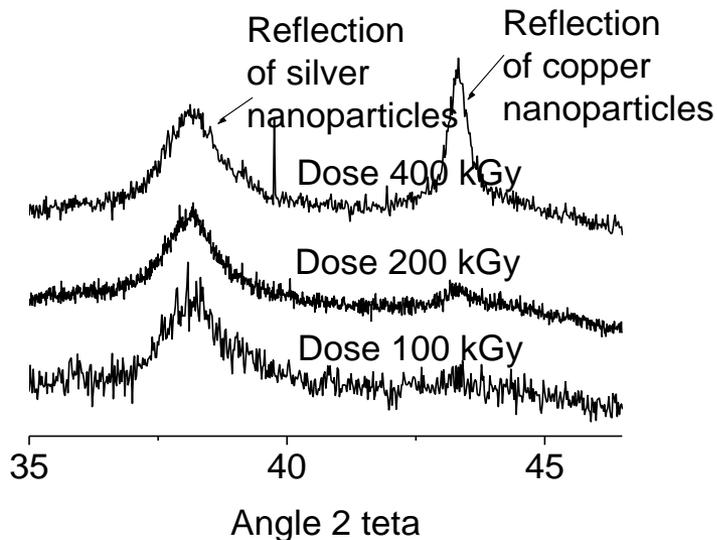
2.5%Ag  
6%Cu

Экспозиция 180 мин Размеры наноструктур, нм

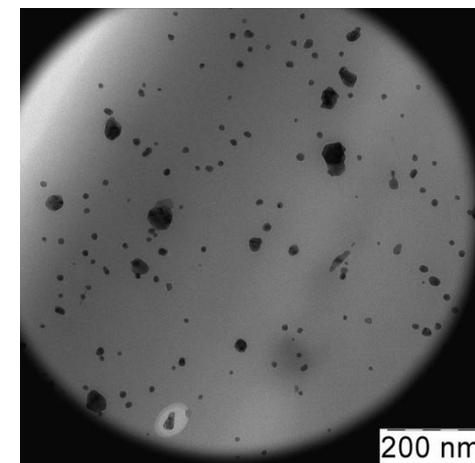
	Серебро	Медь
Ag 7% Cu 6%	45	33
Ag 2,6% Cu 7%	27	38
Ag 1,2% Cu 10%	15	44



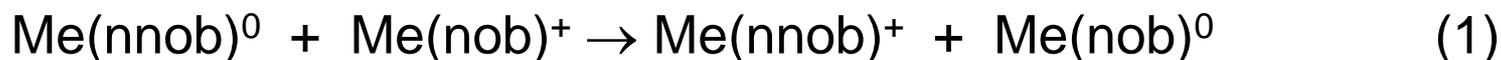
Доза 240 кГр



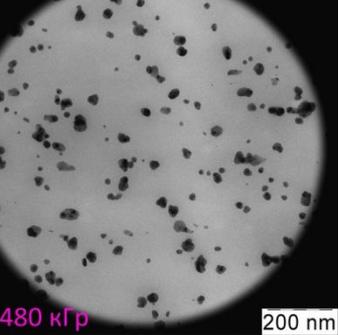
1.2%Ag 10%Cu



Доза 320 кГр

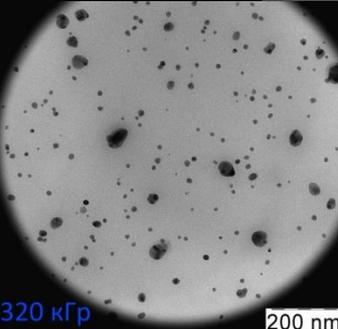
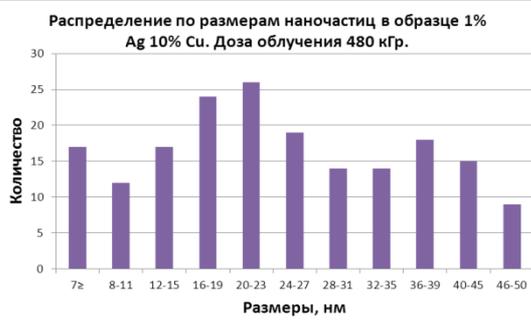


# 1.2%Ag 10%Cu



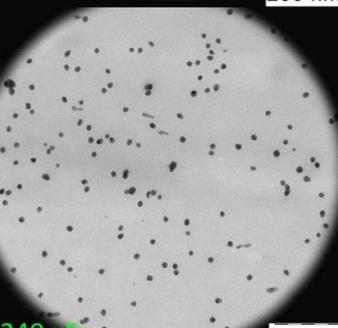
480 кГр

200 nm



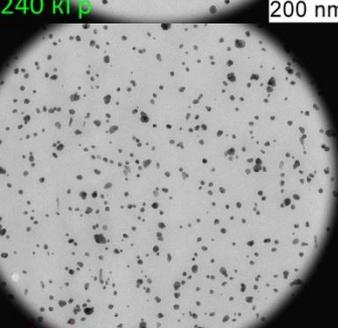
320 кГр

200 nm



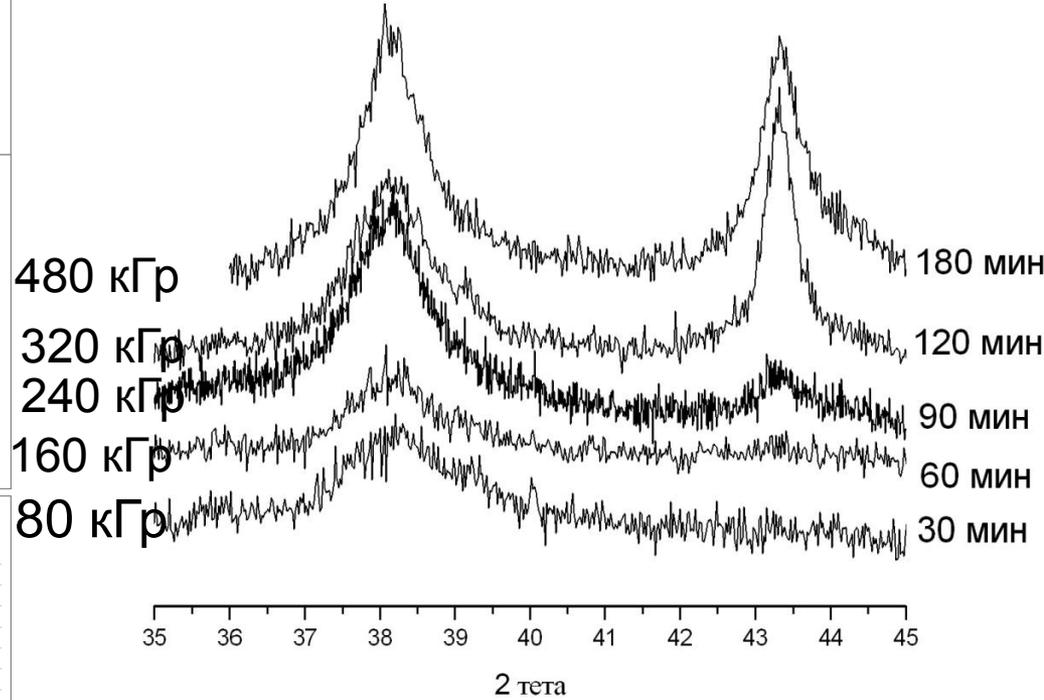
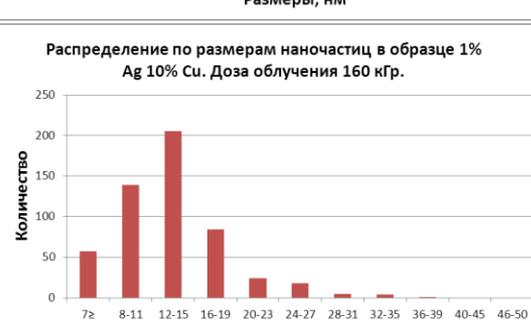
240 кГр

200 nm



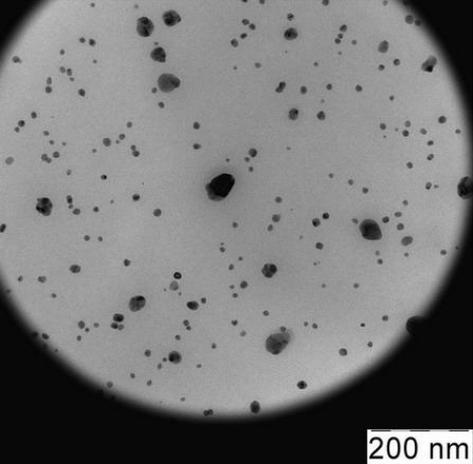
160 кГр

200 nm

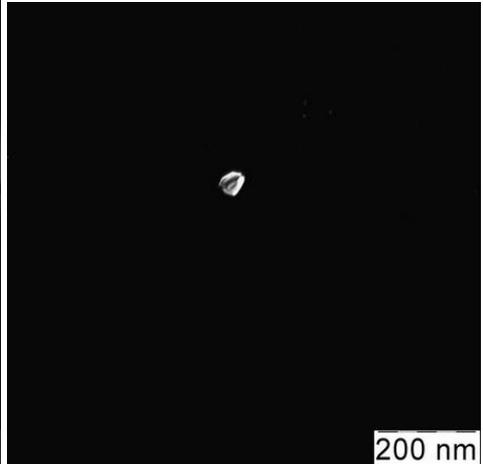


размер наночастиц серебра не меняется

происходит постепенный рост размеров наноструктур меди

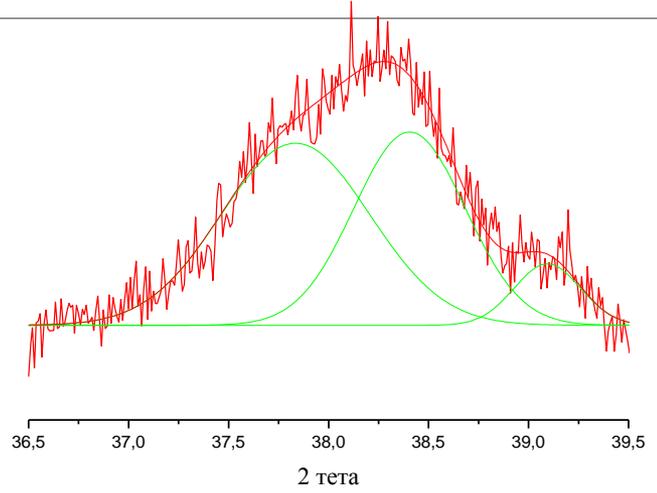
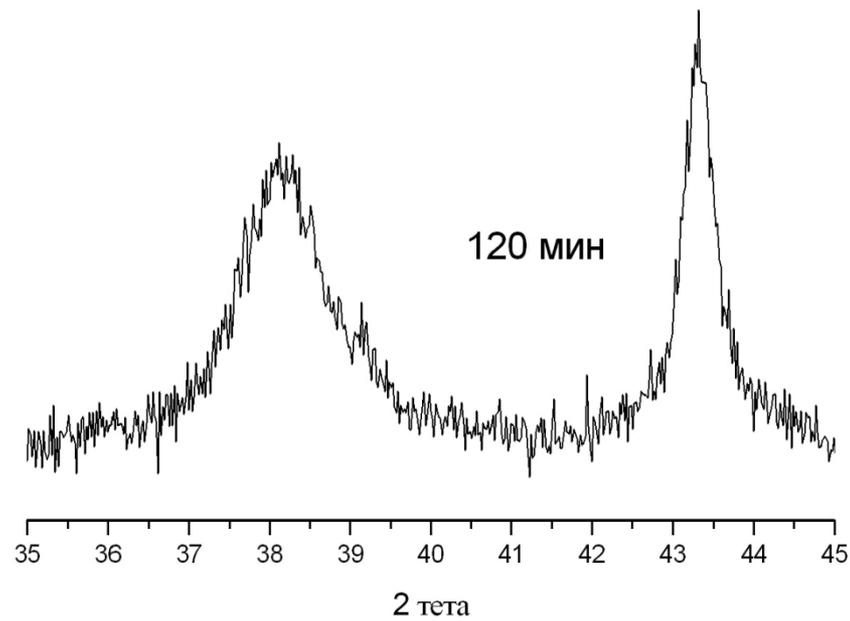
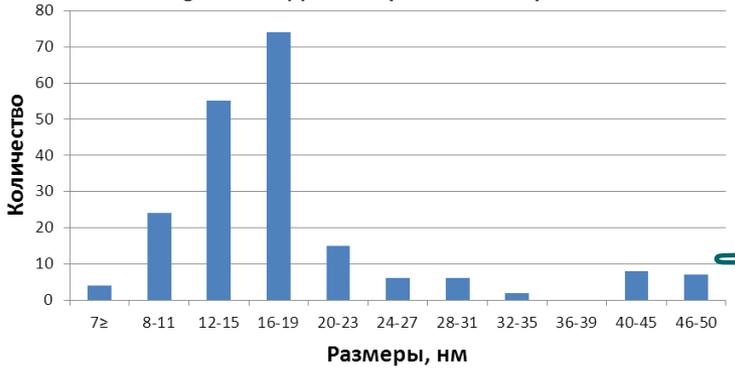


200 nm

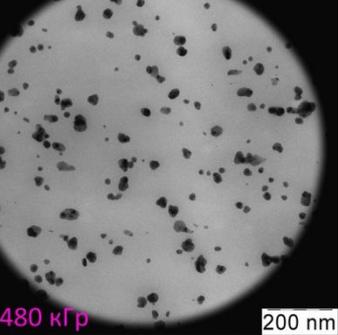


200 nm

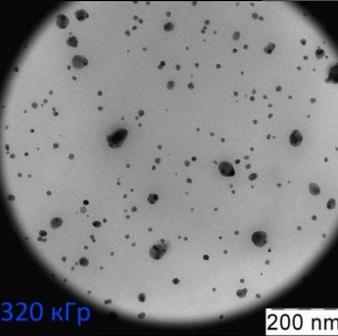
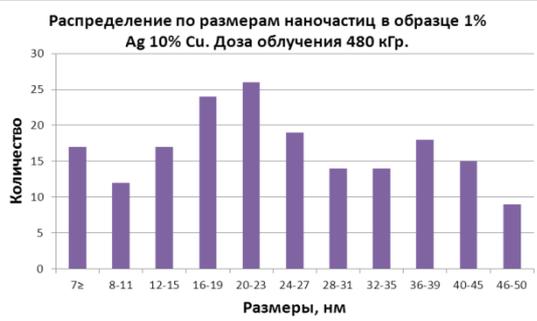
Распределение по размерам наночастиц в образце 1% Ag 10% Cu. Доза облучения 320 кГр.



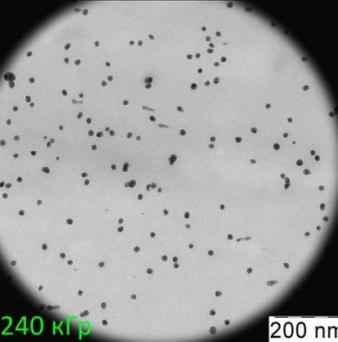
сигналы – сателлитов  
 искажения кристаллической решетки  
 наночастиц серебра



480 кГр 200 nm



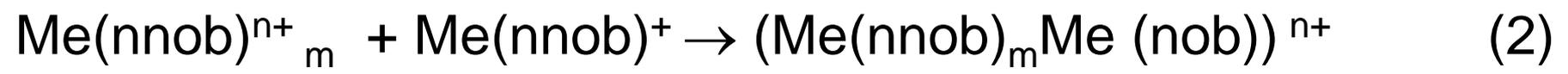
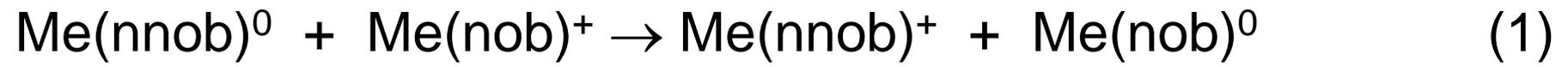
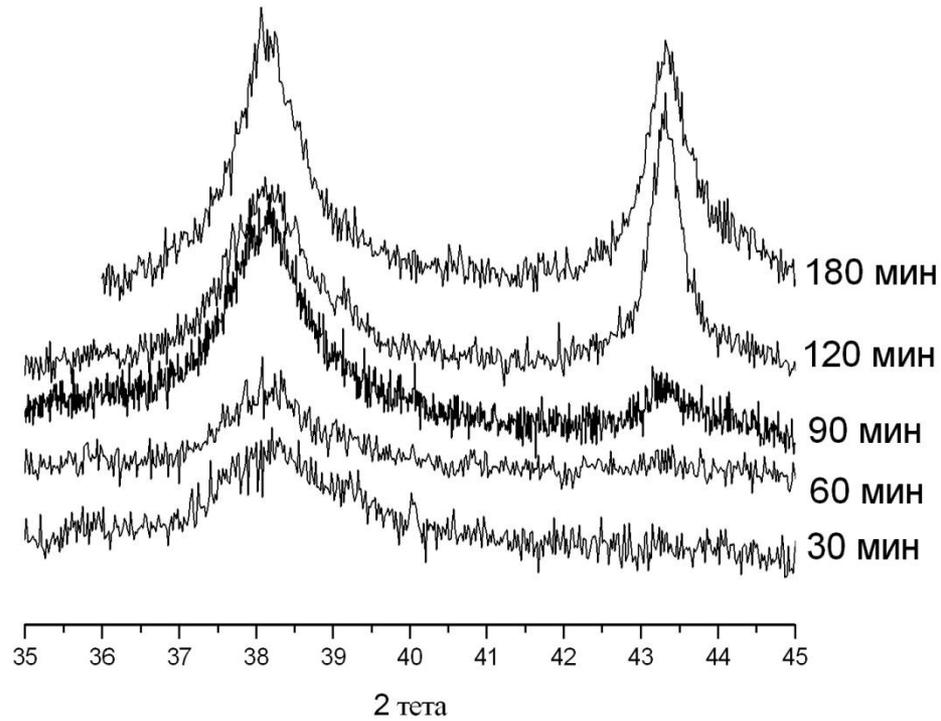
320 кГр 200 nm



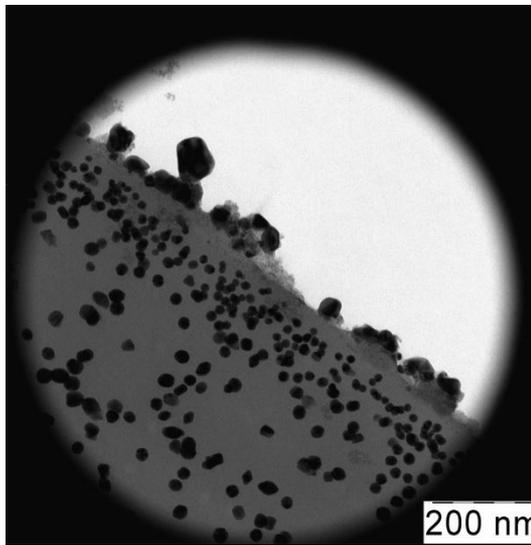
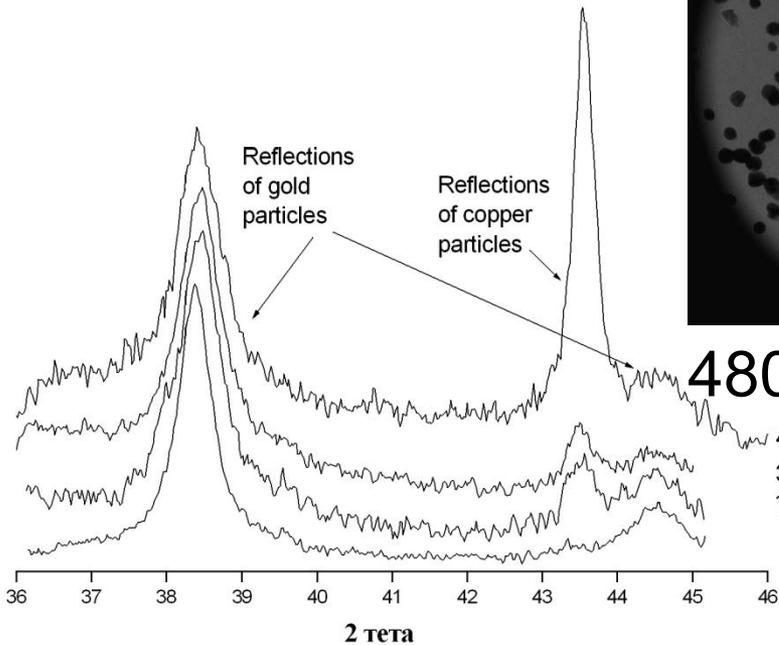
240 кГр 200 nm



1.2%Ag 10%Cu



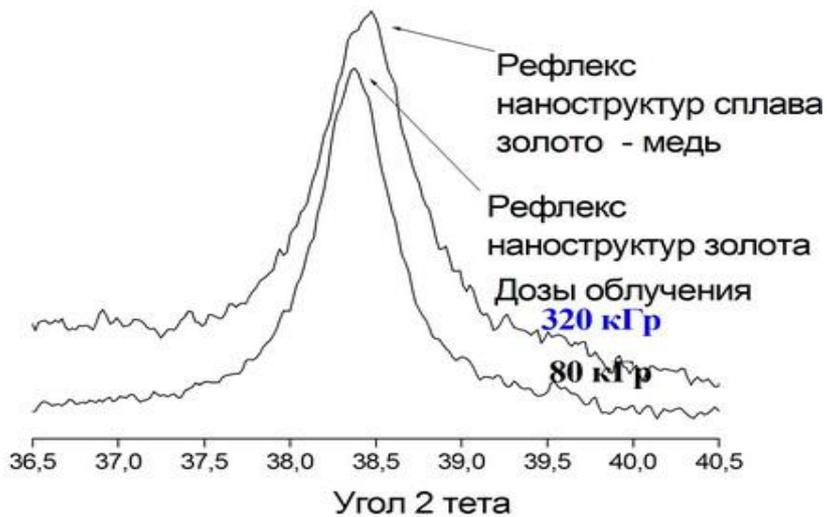
1 %Ag 5%Cu



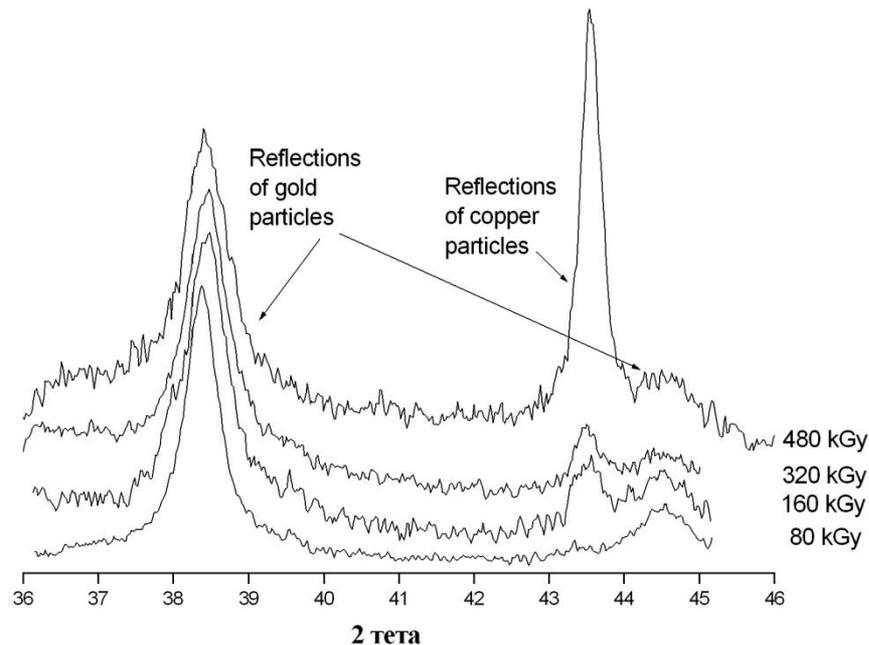
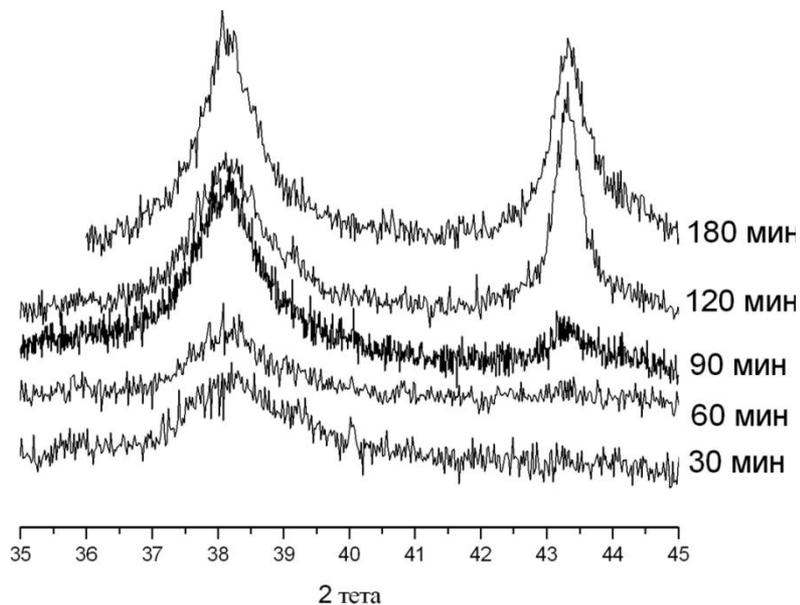
	Cu	Au
Доза облучения образца: 80 кГр		
размер наночастиц, нм	-	17.78
Доза облучения образца: 160 кГр		
размер наночастиц, нм	17.165	13.12
Доза облучения образца: 320 кГр		
размер наночастиц, нм	20.533	12.83
Доза облучения образца: 480 кГр		
размер наночастиц, нм	38.159	12.311

👉 размер наночастиц золота не меняется

👉 происходит постепенный рост размеров наноструктур меди



Формируются наночастицы типа ядро-оболочка.  
Как ядро и так оболочка имеют составной характер.  
Ядро включает, как наноструктуру металлического золота, так и наноструктуру сплава золота с малым содержанием меди.  
Оболочка наночастиц состоит из наноструктур меди и сплава меди и золота с малым содержанием золота.



размеры наноструктур биметаллических частиц определяются

👉 начальным содержанием ионов металлов

👉 дозой облучения

1) Vladimir I. Feldman, Alexey A. Zezin, Sergey S. Abramchuk, Elena A. Zezina. X-ray Induced Formation of Metal Nanoparticles from Interpolyelectrolyte Complexes with Copper and Silver Ions: the Radiation-Chemical Contrast // Journal of Physical Chemistry 2013 C, V.117, PP. 7286-7293

2) Ayşe Bakar, Olgun Guven, Alexey A. Zezin, Vladimir I. Feldman. Controlling the size and distribution of copper nanoparticles in double and triple polymer metal complexes by X-ray irradiation // Radiation Physics and Chemistry Volume 94, January 2014, PP. 62–65

3) Dmitry V. Pergushov, Alexey A. Zezin, Alexander B. Zezin and Axel H.E. Muller. Advanced Functional Structures Based on Interpolyelectrolyte complexes // Adv Polym Sci, 2014 V.255: PP.173–226 DOI: 10.1007/12\_2012\_182, принято в печать