

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение  
города Москвы "Школа № 2065"

**«Аптечка первой помощи, укомплектованная  
антисептическими полимерными материалами»**

**Автор:**

учащаяся 10 «Б» класса  
ГБОУ школы №2065 г. Москвы  
Степанова Дарья Константиновна

**Руководитель:**

Оболенская Любовь Николаевна  
к.х.н., учитель химии ГБОУ школы №2065 г. Москвы

Москва, 2022 г.

## Команда проекта

Команда проекта представлена в *таблице 1*.

*Таблица 1. Функции участников проекта*

ФИО	ОУ, класс/ должность	Функция в проекте	Задачи в проекте
Степанова Д.К.	ГБОУ Школа №2065; ученица 11 «Б»	Автор и исполнитель	Анализ литературы, планирование, синтез, характеристика, установление корреляций
Оболенская Л.Н.	ГБОУ Школа №2065; учитель химии	Научный руководитель	научное сопровождение, обеспечение ресурсами, испытания

## Введение

### Актуальность

Изначально мотивацией проекта было то, что достаточно часто в быту люди получают ожоги II степени тяжести, сопровождающиеся отслоением эпидермиса, разрушением тканей, нарушением осмотического давления и, как следствие, выделением трансудата. С другой стороны, ожоговые раны в этом случае всегда оказываются инфицированы, что приводит к выделению экссудата. Наиболее актуальным и, одновременно, реалистичным нам показалось совершенствование средств для лечения ожогов II степени тяжести, поскольку ожоги I степени не требуют лечения, а терапия ожогов III–IV степени сложна, многокомпонентна и осуществляется в стационаре.

Далее мы расширили свои планы комплексного укомплектования аптечки ПП (первой помощи) предметами из само-дезинфицирующихся материалов, что весьма актуально из-за того, что ПП оказывается всегда в условиях антисанитарии, людьми, которые находятся в стрессе, людьми, которые безграмотны в общей медицине. И самое главное – утилизация перчаток, зачастую инфицированных, является очевидной всем экологической проблемой. А применяя данную разработку, можно резко сократить количество отходов, поскольку все предметы, за счёт способности к само-дезинфекции, пригодны для многократного использования.

**Объект:** нано-Ag в крейзах ПЭТ (полиэтилена)

**Предмет:** синтез *in situ* в крейзах ПЭТ стабильного при стандартных условиях нано-Ag для придания бактериостатических свойств предметам в аптечке ПП.

**Гипотеза:** Синтезируя нано-Ag для самоочищающихся от бактериальных загрязнений изделий аптечки ПП (бинт, противоожоговые гидрогелевые салфетки, ПЭТ маска-клапан для искусственного дыхания и перчатки), мы сможем: 1) решить проблему замусоривания одноразовыми перчатками; 2) обезопасить людей (спасателей и пострадавших).

**Цель работы:** (20/21 уч.г.): оптимизация условий синтеза нано-Ag, стабилизированного декстраном, для получения нового класса противоожоговых гидрогелей, вызывающих грануляцию и эпителизацию ожогов (по крайней мере, II степени) быстрее, чем прототип Апполо.

(21/22 уч.г.) Установление оптимальных условий синтеза наносеребра для комплексной разработки нового типа аптечки первой помощи, укомплектованной антисептическими материалами, для многократного использования (т.е. резкого сокращения количества отходов в случае массового внедрения в производство).

В соответствии с целью и объектом на этот год были поставлены **задачи**:

1. Найти оптимальную методику синтеза нано-Ag для гидрогелевых противоожоговых салфеток.

2. Установить оптимальные условия крейзинга полиэтилена (ПЭТ) для перчаток (толщиной ~10 мкм) и для масок-клапанов (толщиной 100 мкм) для сердечно-лёгочной реанимации (далее СЛР).

3. Установить оптимальные условия синтеза нано-Ag *in situ* внутри крейзов (нано-трещинок) полиэтиленовых плёнок обоих типов.

4. Варьируя параметры синтеза, получить образцы наносеребра; охарактеризовать их оптические свойства и микроморфологию; установить корреляции «синтез–структура».

5. Исследовать влияние на структуру нанокompозитного продукта: мощности облучения, толщины плёнки, наличия/отсутствия этиленгликоля.

**Новизна:** впервые проведён синтез нано-Ag *in situ* в крейзах ПЭТ.

**Теоретическая значимость:** изучено влияние условий крейзинга ПЭТ и синтеза нано-Ag в его крейзах на вид ЭСП и нанорельеф продукта.

**Практическая значимость:** обнаружены новые стратегии синтеза нано-Ag. Подобранный нами методика крейзинга, с одной стороны, поможет в борьбе с проблемой замусоривания одноразовыми перчатками и масками-клапанами. С другой стороны, благодаря ней один «реактив Толленса» теперь можно применить, универсально, для получения трёх типов самоочищающихся принадлежностей для ПП (перчаток и масок-клапанов для СЛР (из ПЭТ) и бинтов).

#### **Основные этапы и даты**

Разновидность «дорожной карты проекта» приведена в *таблице 2*.

*Таблица 2. Основные этапы работы*

<b>Рубежные даты</b>	<b>Краткая характеристика этапа</b>
май 2020 г. – май 2021 г.	Оптимизирована методика синтеза наносеребра для полиакрилатных противоожоговых гидрогелей
лето 2021 г.	Проведена серия попыток крейзинга ПЭТ и «переходные» синтеза наносеребра
сентябрь 2021 г.	Установлено, что крейзинг ПЭТ «путём изломов» предпочтительнее, чем путём растяжения.
окт. – дек. 2020 г.	Получены и изучены композиты ПЭТ/нано-Ag
наст.вр.	Продолжаем наработку данных

#### **Литературный обзор**

Мы постарались максимально рассмотреть все имеющиеся сведения о выбранных нами компонентах (гидрогелевой матрице и нано-Ag).

Уникальные химические, оптические и механические свойства наночастиц серебра [1] делают их крайне перспективными для применения в областях доставки лекарств [2], катализа [3], мечения клеток и органелл и

визуализации [4, 5], биологического зондирования [6] и обнаружения широкого круга биомолекул [7, 8]. Важной характеристикой нанобъектов, которая отличает их от их массивных аналогов, является высокое отношение площади поверхности к объёму. Кроме того, материалы на наноразмерном уровне обладают уникальными химическими и физическими свойствами по сравнению с их объемными аналогами, и эти свойства важны для множества технологических процессов.

Среди всех благородных металлов в форме наночастиц серебро привлекло внимание из-за его интересных физико-химических свойств и хорошо известной антибактериальной активности его ионной формы. Для нанокристаллов Ag было показано, что электромагнитные, оптические и каталитические свойства, а также биосенсорная или биологическая активность сильно зависят от формы и / или размера наночастиц. Это привело к развитию множества синтетических методов для лучшего контроля морфологии и размера. Наиболее широко используемым методом синтеза является химическое восстановление ионов серебра в растворе с использованием различных восстановителей, способных одновременно выступать в роли стабилизаторов (таких как цитрат натрия, глюкоза, формамид и другие).

Химическое восстановление является наиболее часто применяемым методом получения наночастиц серебра в виде стабильных коллоидных дисперсий в воде или органических растворителях. Восстановление ионов серебра ( $Ag^+$ ) в водном растворе обычно дает коллоидное серебро с диаметром частиц несколько нанометров. Первоначально восстановление различных комплексов ионами  $Ag^+$  приводит к образованию атомов серебра, за которым следует агрегация в олигомерные кластеры. Эти кластеры в конечном итоге приводят к образованию коллоидных частиц Ag. Когда коллоидные частицы значительно меньше длины волны видимого света, растворы имеют жёлтый цвет с интенсивной полосой в диапазоне 380-400 нм. Эта полоса приписывается коллективному возбуждению электронного газа в частицах, с периодическим изменением электронной плотности на поверхности (поверхностное поглощение плазмонов) [9]. Электроны в наночастицах благородных металлов могут свободно перемещаться, и эти свободные электроны создают на поверхности плазмонные полосы, которые зависят от формы, размера и окружения. Поэтому металлические наноструктуры проявляют множество технологически полезных свойств.

Несколько исследований предполагают, что наночастицы серебра [10] могут прикрепляться к поверхности клеточной мембраны, нарушая проницаемость и дыхательные функции клетки прокариота. Чем меньше размер частиц, тем больше у них удельная площадь поверхности (доступной для взаимодействия), и тем больше их бактериостатический эффект, чем в случае больших Ag NPs. Также возможно, что наночастицы Ag не только взаимодействуют с поверхностью мембраны, но и могут проникать внутрь бактерий. Их принципиальное отличие от «традиционных» антисептиков в том, что они не убивают клетки (т.е. не вредят побочно тканям человека), а только нарушают механизмы их деления (репликации ДНК), что и приводит к подавлению роста колоний бактерий.

В протеомных и биохимических исследованиях наномолярные концентрации наночастиц Ag убивали клетки *E. coli* в течение нескольких минут. Это действие аналогично действию, обнаруженному для антимикробной активности ионов  $Ag^+$ .

Однако важно отметить, что наночастицы Ag эффективны даже при наномолярных концентрациях, в то время как ионы  $Ag^+$  – только при микромолярных.

Теперь рассмотрим преимущества синтеза nano-Ag с использованием мальтодекстрина [11]. Мальтодекстрин – это полисахарид, подходящий для синтеза и стабилизации наночастиц Ag. Мальтодекстрин состоит из остатков D-глюкозы с гликозидными связями 1~4. Именно мальтодекстрин с ДЭ (т.е. массой декстрозы на каждые 100 г образца) от 4 до 6 используется в методике синтеза nano-Ag из практикума по нанотехнологиям [12]. Схож с ним и резервный декстран (также стабилизатор nano-Ag [13], который, вдобавок, способствует заживлению ожоговых ран, хотя ранее не изучался как агент, действующий на ожоги совместно с nano-Ag.

В работе [14] мы нашли сведения о крейзинге ПЭТ, а в работе [15] – об осуществимости получения его композитов с nano-Ag. Кроме того, авторами [16] описано, как, оказывается, гидрофилизуется ПЭТ под УФ светом. Однако в этом году для нас стало главным средство nano-Ag к ПЭТ, поэтому мы в качестве восстановителя выбрали этиленгликоль [10]. Хотя потом отказались от любого введения восстановителя вовсе, т.к. оказалось, что оптимальна просто термодеструкция гидроксида диамминсеребра

#### **Принятые сокращения:**

ЭСП – электронный спектр поглощения

СЗМ – сканирующая зондовая микроскопия

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия

ВОПГ – высокоориентированный пирографит

УЗ, UZ – ультразвук(овая)

D – декстран

M – мальтодекстрин

СЛР – сердечно-лёгочная реанимация







#### **Обоснование выбора методов исследования**

Сканирующая зондовая микроскопия – это «прямой» метод визуализации наночастиц и прецизионного изучения топографии наноплёнок; к её преимуществам (по сравнению с электронной микроскопией) относится, прежде всего, отсутствие сложной, зачастую деформирующей образец, пробоподготовки и возможность использования не только в вакууме, но и на воздухе, и в жидкой среде [17].

Применение же нами методов электронной спектроскопии поглощения и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) обусловлено указаниями из [12].

#### **Материалы и методы**

*Таблица 3. Список основных использованных реактивов*

<p>Нитрат серебра</p>	
<p>Реополиглюкин</p>	
<p>Мальтодекстрин с ДЭ (декстрозным эквивалентом) 4-6</p>	
<p>Гидроксид натрия</p>	
<p>Лидокаин</p>	
<p>Раствор аммиака</p>	

Полиакрилат натрия марок  
Navisar и LG



Капсулы с буфером Micro  
Essential Lab Hydrion™ для  
калибровки pH-метров



Лакмус




D-глюкоза







<p>Нитрат аммония</p>	
<p>Лимонная кислота</p>	
<p>н-Декан</p>	
<p>Этиленгликоль</p>	


*Оборудование*

*Таблица 4. Список использованного оборудования*

<p>Спектрофотометр ПЭ-5400УФ</p>	
----------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

<p>Сканирующий зондовый микроскоп Phywe Compact и подложки из высокоориентированного пирографита (ВОПГ)</p>	
<p>Центрифуга-вортекс ELME LV-1006</p>	
<p>Весы CAS XE-300</p>	
<p>Мешалка магнитная Edustrong</p>	
<p>Настольная плита Irit IR-8004</p>	

<p>Ультразвуковая ванна GT-F1 Sonic</p>	
<p>Мультидатчик Point Хим-1 с температурным датчиком и датчиком рН</p>	
<p>Рефрактометр АТС</p>	
<p>Лазерная указка Danger</p>	
<p>Тепловой пистолет-распылитель (строительный фен)</p>	

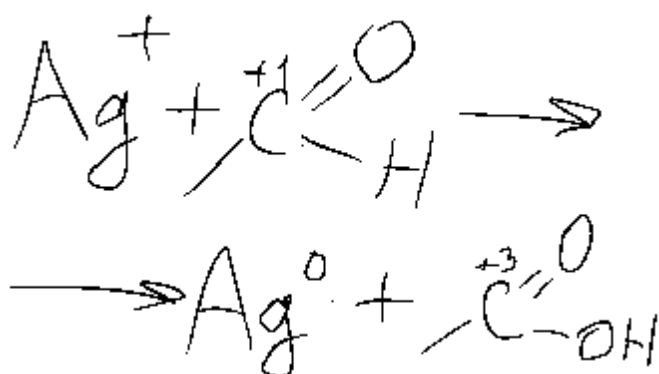
Конструкция для крейзинга растяжением	
---------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Подробное изложение результатов первого года работы приведено в статье [18] и по ссылке <https://disk.yandex.ru/i/g2L4qbZ0kqP7aQ>.

Чтобы определить вектор работы в этом учебном году, мы всё лето выполняли пробные синтезы, данные о которых также приведены [отдельно по ссылке](#).

*Схемы синтеза*

Схема ОВР, лежащей в основе синтеза, приведена на *рис. 1*.



*Рис. 3. Химизм процесса*

[Схемы синтеза 20/21 уч.г.](#) Оптимизированная схема синтеза (2021/2022 уч.

Этап 1: крейзинг ПЭТ в *n*-декане (30 мин), высушивание под действием УФ облучения (+гидрофилизация), обработка 0.1М NaOH (18 ч), отмывание H<sub>2</sub>O

Этап 2: смешение нитратов серебра (0.018 г) и аммония (0.027 г) с водой (40 мл), добавление р-ра NaOH (0.08 г) погружение ПЭТ, УЗ обработка 20 мин

Этап 3: в части случаев – добавление этиленгликоля «ЭГ» (n(Ag<sup>+</sup>) : n(ЭГ) = 1:540); термическое разложение реактива Толленса при 200°C в течение 1 мин

коричневатые отсветы на ПЭТ (образцы «Т», «Т, ЭГ»)

г.).

### Получение образцов

Ввиду наработки огромного массива экспериментальных данных остановимся на получении самого удачного образца 20/21 уч. г. Был высушен и тщательно отмыт декстран массой 12 г (ДЭ составил ~4); массы других реагентов: 0.14 г AgNO<sub>3</sub>, 0.21 г

$\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 0.22 г NaOH. Каждый реагент был растворён в небольшом (20–30 мл) объёме воды; смесь подверглась УЗ обработке (20 мин), после чего приобрела характерный жёлтый цвет (рис. 2). [По данным ПЭМ, размер частиц около 16–24 нм.](#)

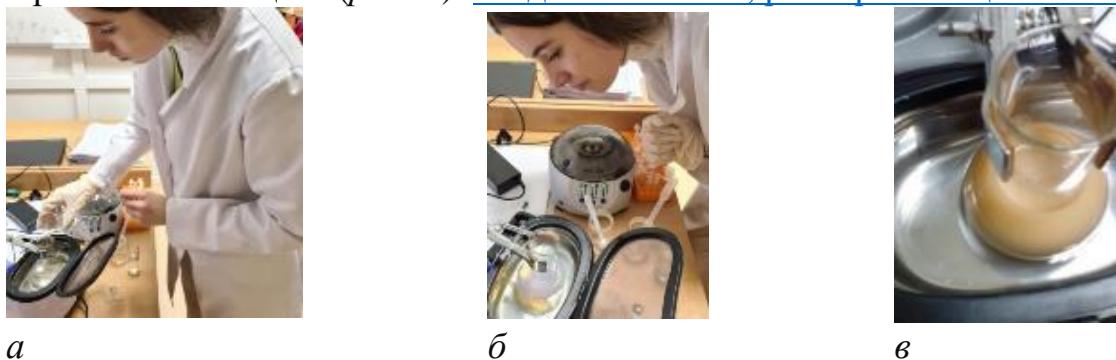


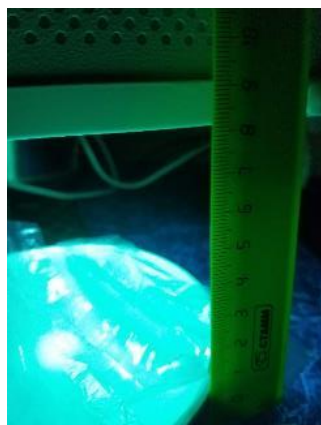
Рис. 2. Добавление р-ра  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в реакцию смесь (а,б) и вид реакционной смеси через 30 мин УЗ обработки (в)

Для синтеза одного из самых интересных образцов этого уч. г. мы сначала разрезали на равные полоски плёнки ПЭТ ГОСТированной толщины (10 мкм либо 100 мкм), а затем провели крейзинг с деформацией «путём изломов» в *n*-декане в качестве адсорбционно-активной среды (в каждом шприце по 1 мл *n*-декана) (рис. 3). Длительность крейзинга была 30 мин (оптимум, согласно предыдущим ЭСП).



Рис. 3. Крейзинг ПЭТ

Полосы высушили под УФ облучением (рис. 4а), выдержали в щёлочи и отмыли под контролем фенолфталеина. Затем мы, согласно данным из схемы выше, приготовили реакционную смесь, погрузили в неё полоски и провели синтез под действием УЗ (рис. 4б), а затем термодеструкцию (рис. 4в). В конце полоски отмыли водой до отрицательной хлоридной пробы. По сути, синтез приблизился к получению «антисептических бинтов» [18], т.е. один «реактив Толленса» теперь можно применить, универсально, для получения трёх типов самоочищающихся принадлежностей для ПП (перчаток и масок-клапанов для СЛР (из ПЭТ) и бинтов).



а



б



в

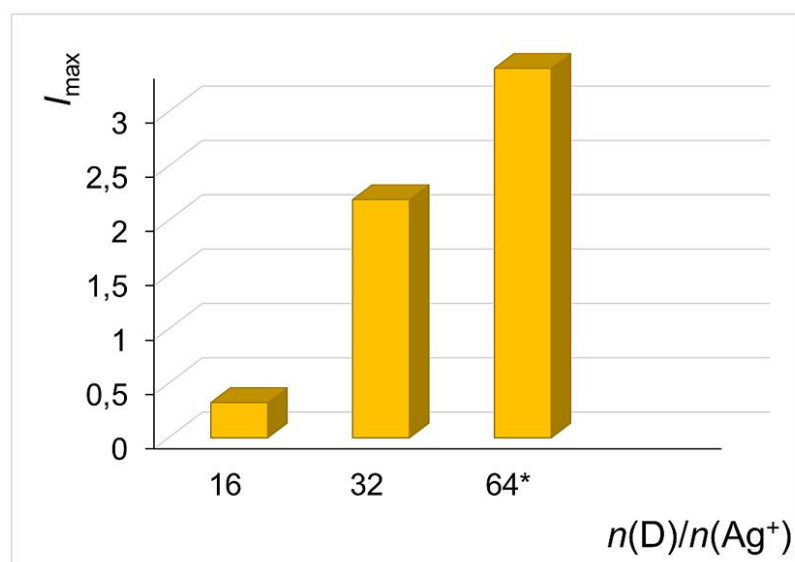
Рис. 4. Основные этапы синтеза композитов ПЭТ/нано-Ag

## Результаты и их обсуждение

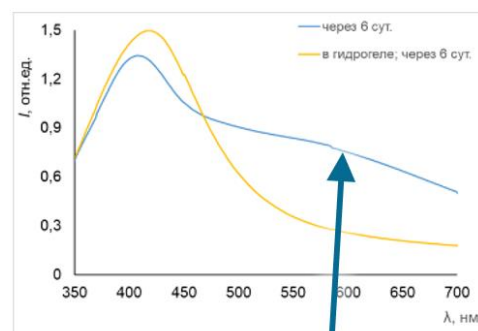
### Оптические свойства

Закон Бугера—Ламберта—Бера – основной закон для исследований методом электронной спектроскопии поглощения. Он устанавливает прямую пропорциональную зависимость интенсивности максимуму поглощения от концентрации хромофора. В нашем случае хромофор – не фрагмент молекулы, а все наночастицы. И их полоса поглощения обусловлена плазмонным резонансом.

Самая интересная корреляция из полученных в прошлом уч.г. приведена на рис. 5. По мере увеличения мольного отношения декстрана к нитрату серебра возрастает не только концентрация наночастиц Ag в конечном продукте, но и его агрегативная устойчивость при хранении (при ст.у.).

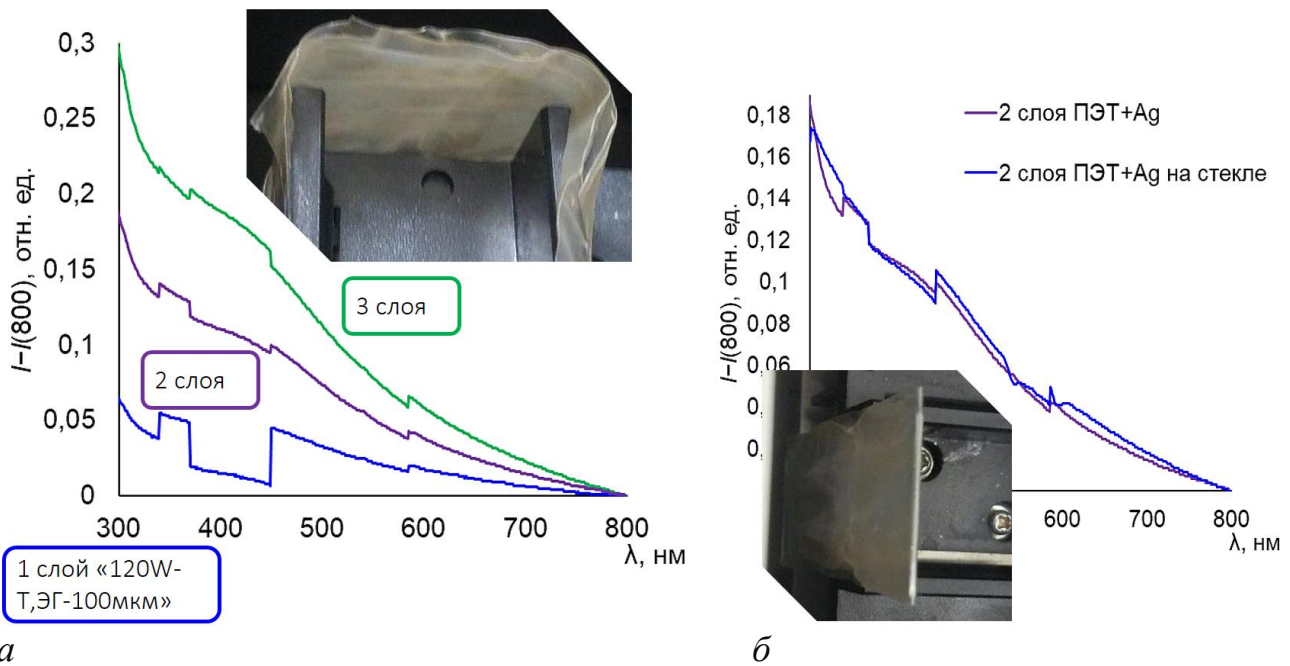


а



б

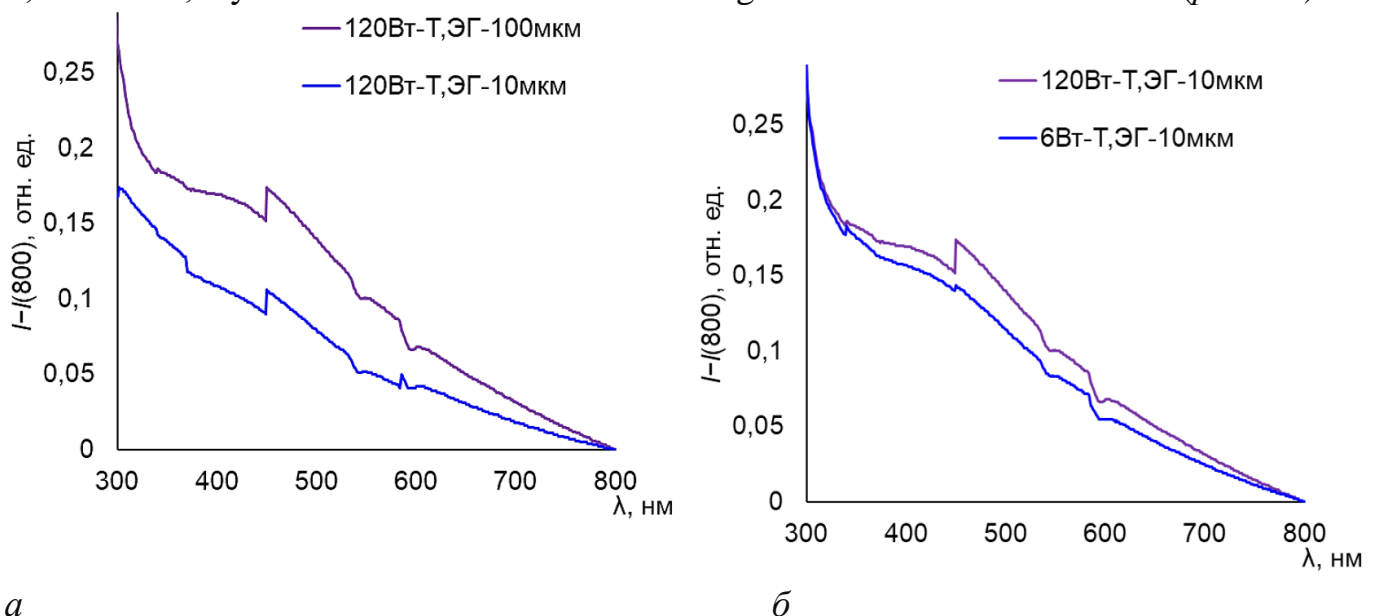
Мы впервые записали ЭСП nano-Ag не в золях, а в самой полиэтиленовой матрице (рис. 6). Увеличение интенсивности максимума поглощения плазмонного резонанса (т.е., по закону Бугера—Ламберта—Бера, и пропорциональное увеличение содержания nano-Ag) происходит при увеличении числа слоёв композитных пленок.



*а* *б*  
 Рис. 6. Сопоставление ЭСП: записанных при различном количестве слоёв ПЭТ (*а*), при наличии или отсутствии предметного стекла в качестве подложки (*б*)

При этом от наличия/отсутствия стекла в качестве подложки вид ЭСП почти не зависит (при условии, что фоновый спектр записан со стекла под тем же углом).

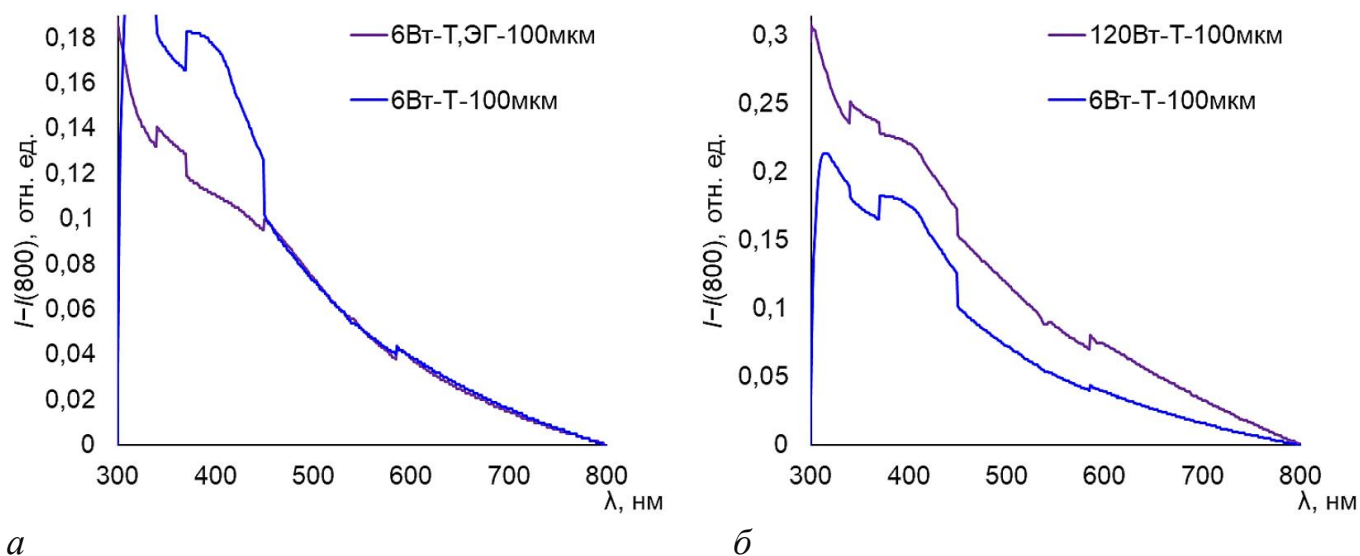
Далее мы установили, что чем больше толщина плёнки ПЭТ, тем, вероятно, глубже крэйзы и, соответственно, тем больше в них помещается наночастиц Ag (*рис. 7а*). Так же логично, что повышение мощности УФ облучения (в ходе гидрофилизации) привело, вероятно, к улучшению адгезии водного раствора  $\text{AgNO}_3$  и, опять же, к увеличению количества нано-Ag в готовом нанокompозите (*рис. 7б*).



*а* *б*  
 Рис. 7. Сопоставление ЭСП образцов, различающихся: толщиной плёнки ПЭТ (*а*), мощностью УФ облучения в ходе высущивания и гидрофилизации ПЭТ (*б*)

Переходя к образцам, полученным без этиленгликоля (просто термолизом реактива Толленса на поверхности подвергнутого крэйзингу ПЭТ), отметим, что без этиленгликоля количество нано-Ag оказалось даже больше (*рис. 8а*), а тенденция

улучшения связывания капель реакционной смеси с поверхностью ПЭТ при увеличении мощности УФ облучения сохранилась (рис. 8б).



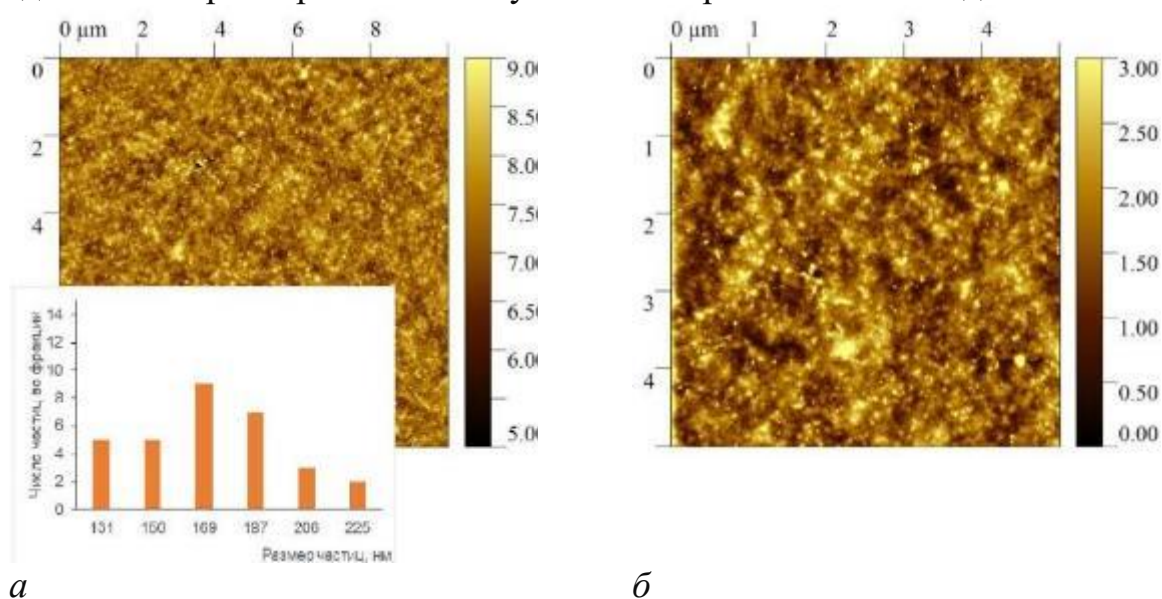
*а* *б*  
 Рис. 8. Сопоставление ЭСП образцов, различающихся: присутствием ЭГ (*а*), мощностью УФ облучения в ходе высушивания и гидрофилизации ПЭТ (*б*)

*Данные СЗМ*

Так как от красного золя остаётся плёнка красного цвета, а от жёлтого золя – жёлтого, в первом приближении можно считать морфологию наночастиц в золе и в плёнке одинаковой. Маркировка приведена согласно нашей статье [18].

*Сканы образцов, полученных на базе методики из [13]*

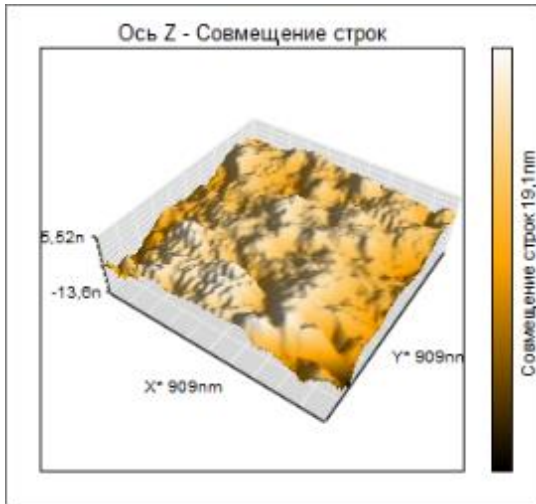
На рис. 9 приведены изображения двух характерных участков поверхности плёнки из золя nano-Ag, стабилизированного мальтодекстрином (M+UZ) и соответствующая гистограмма распределения частиц по размерам. Из приведённых изображений видно, что перепад высот не превышает 9 нм; планарные размеры частиц находятся в интервале от 131 нм до 225 нм. Они имеют близкое к гауссовому распределение по размерам с максимумом в интервале от 150 нм до 169 нм.



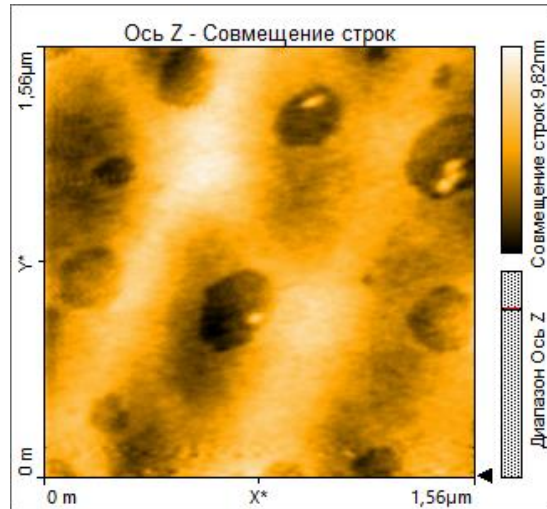
*а* *б*  
 Рис. 9. Изображения характерных участков поверхности плёнки, полученной из золя Ag, стабилизированного мальтодекстрином (M+UZ), и гистограмма распределения частиц по размерам (врезка).

Сканы образцов, полученных по оптимизированной методике

На рис. 10 а,в приведён скан поверхности подложки, а на рис. 10 б,г – типичного участка плёнки из золя nano-Ag, стабилизированного D+UZ. На полученной топографии плёнки заметна характерная структура в виде наноразмерных «ложбин» и «горок» (видно и по тёмным участкам, которые образуют «сетку», и по рельефу поверхности на нижнем изображении).



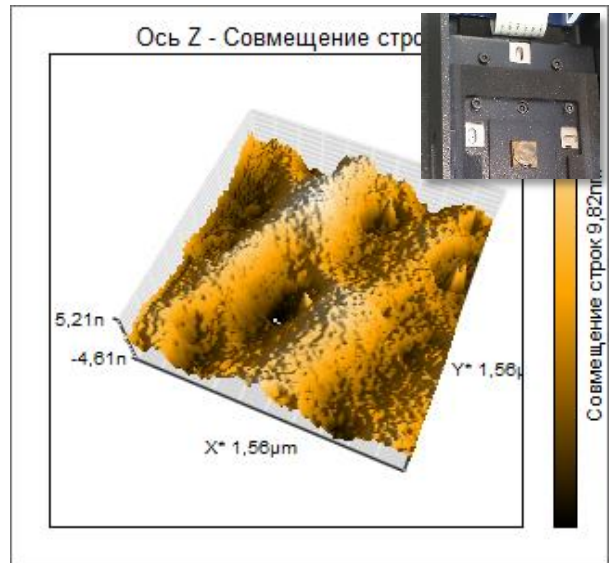
а



б

Рис. 10.

- а) рельеф участка подложки;
- б) цветовая карта характерного участка плёнки из золя D+UZ;
- в) рельеф участка плёнки D+UZ (на врезке – внешний вид проб)

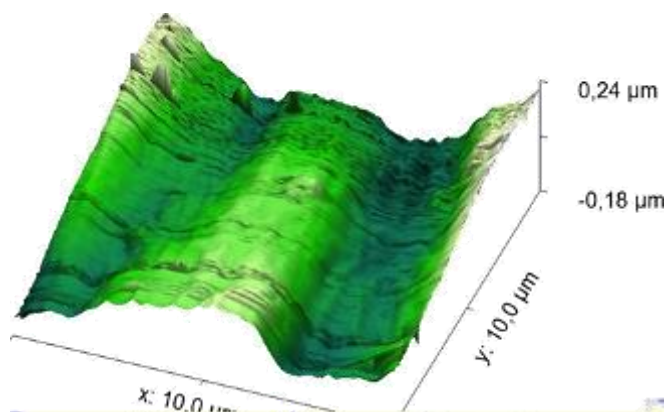


в

Сканы композитных образцов ПЭТ/нано-Ag

На рис. 11 приведён скан типичного участка поверхности «пробного» образца ПЭТ (толщина 10 мкм), подвергнутого крейзингу на нашей установке, переделанной из пялец-рамки, а на рис. 12 – ПЭТ, подвергнутый крейзингу «путём изломов» в шприце, и он же – после выдерживания в золе (в ходе сонохимического синтеза nano-Ag; восстановитель – мальтодекстрин). Как видно по сканам всех образцов, параллельные друг другу «нано-трещинки» появляются от места максимальной деформации ПЭТ в ходе крейзинга, причём более ровно это выглядит в случае крейзинга «путём изломов», поэтому далее мы выполняли крейзинг таким способом.

Рис. 11. Рельеф типичного участка плёнки ПЭТ, подвергнутого крейзингу растяжением



После выдерживания плёнки ПЭТ (с крейзами) в золе появляются «бугорки» нанометрового размера, т.е. можно предположить, что это и есть наночастицы Ag.

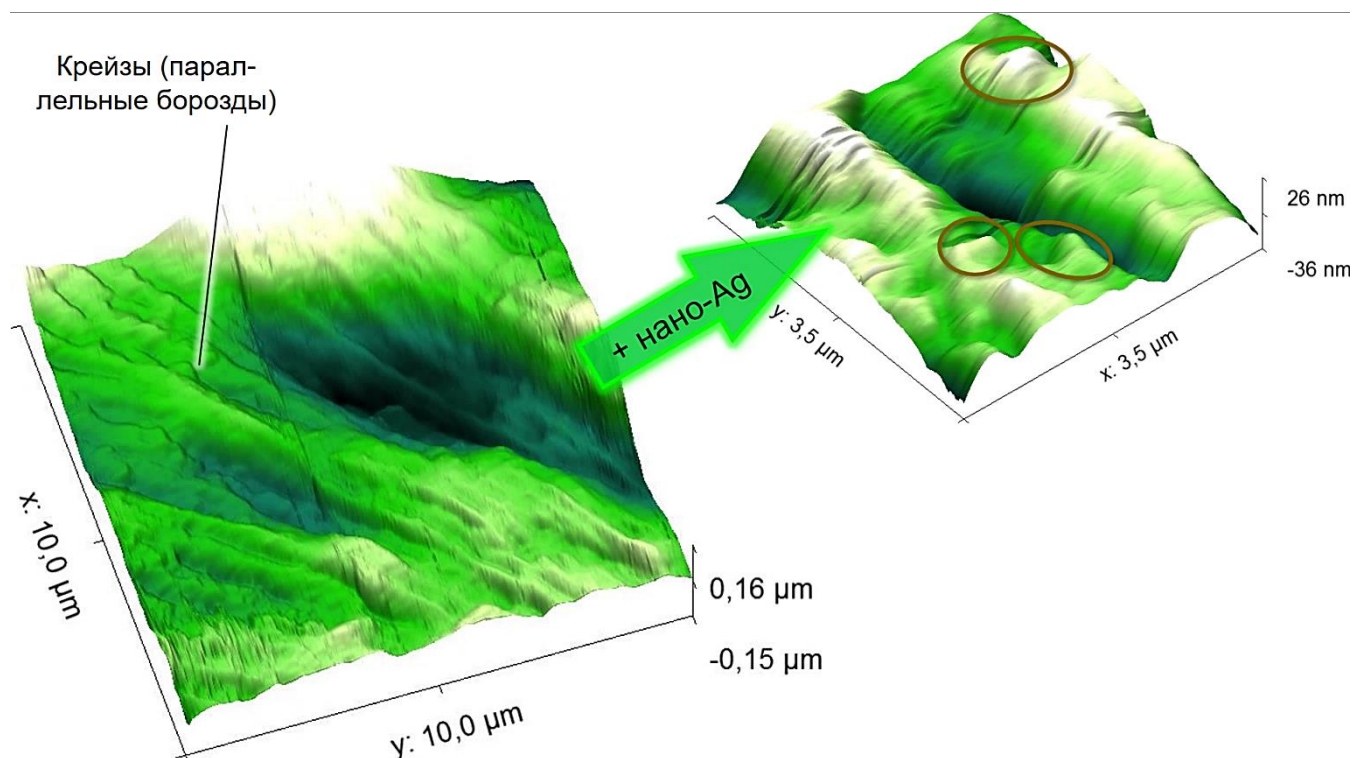
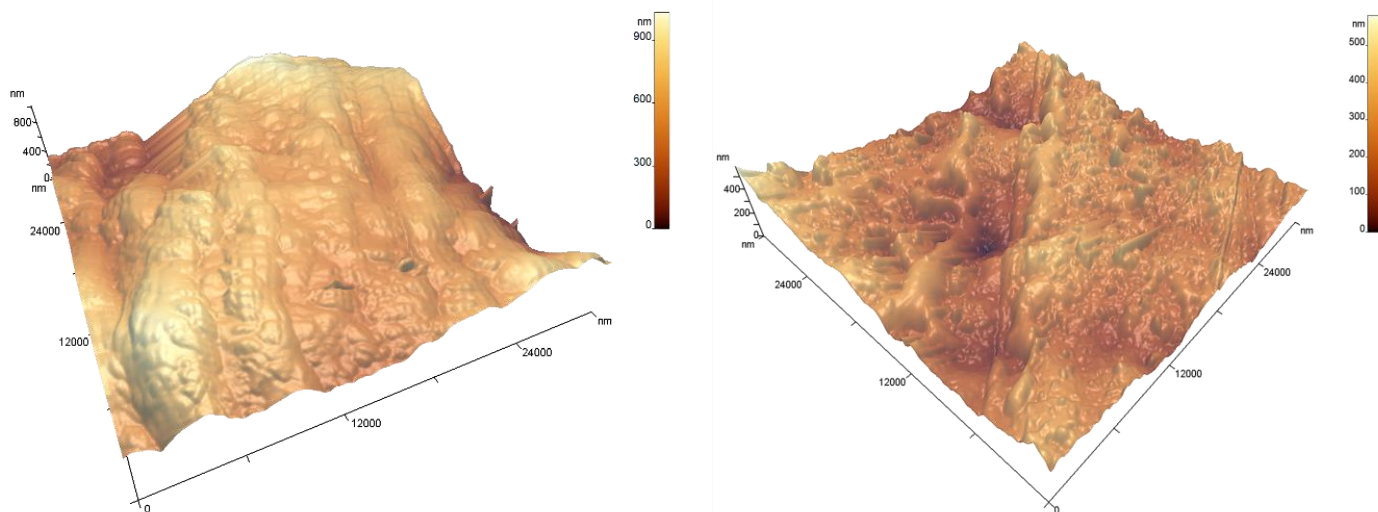


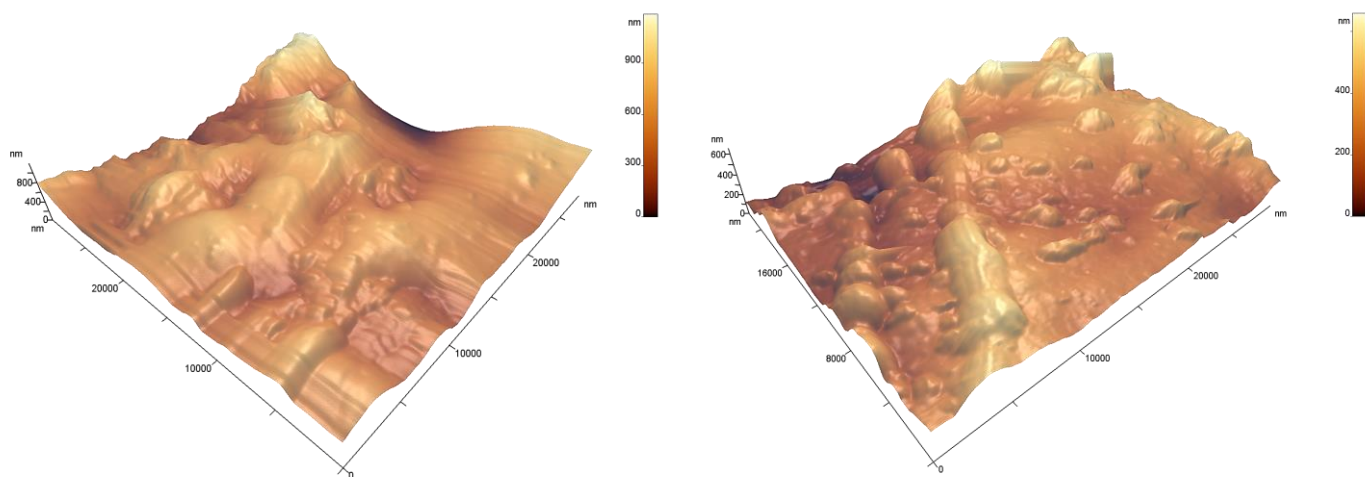
Рис. 12. Рельеф типичного участка плёнки ПЭТ, подвергнутого крейзингу «путём изломов», и рельеф участка его композита с нано-Аг (с мальтодекстрином)

Перейдём к сопоставлению композитов, различающихся только исходной толщиной плёнки ПЭТ (рис. 13; ЭГ добавлялся; мощность УФ облучения 6 Вт). Заметно, что во втором случае, когда исходная плёнка толще, крейзы получаются глубже, наночастиц серебра больше и они выглядят более чётко сформированными. Отметим, что это хорошо согласуется с наблюдениями, сделанными по виду ЭСП.



*а* *б*  
 Рис. 13. Рельеф типичных участков ПЭТ/нано-Ag (с ЭГ; 6 Вт):  
 с исходной толщиной плёнки ПЭТ 10 мкм (*а*) и 100 мкм (*б*)

Продолжим сопоставление композитов, различающихся только исходной толщиной плёнки ПЭТ, на примере пары образцов с ПЭТ, облучавшимся УФ светом с мощностью 120 Вт (рис. 14; ЭГ добавлялся). Прежде всего бросается в глаза, что бóльшая мощность облучения не привела к увеличению «шероховатости». Это противоречит увеличению интенсивности полосы поглощения нано-Ag в вышерассмотренном ЭСП. Вероятно, дело в том, что при записи ЭСП вклад в поглощение пропускаемых фотонов вносит вся площадь поверхности изучаемого образца, а при СЗМ – только участок 30×30 мкм, что статистически менее достоверно (хотя участков всегда перебирали несколько). Зато снова заметно, что во втором случае, когда исходная плёнка толще, крейзы получаются выраженнее и глубже, наночастиц серебра больше и они выглядят более чётко сформированными.



*а* *б*  
 Рис. 14. Рельеф типичных участков ПЭТ/нано-Ag (с ЭГ; 120 Вт):  
 с исходной толщиной плёнки ПЭТ 10 мкм (*а*) и 100 мкм (*б*)

Обсудим, насколько целесообразно вводить этиленгликоль. Сначала рассмотрим на примере пары композитов, различающихся только наличием или

отсутствием ЭГ, при одинаковой исходной толщине плёнки ПЭТ, равной 100 мкм; и мощностью УФ облучения 6 Вт (рис. 15). Видно, что в отсутствие этиленгликоля, т.е. при термодеструкции реактива Толленса, приготовленного строго по методике из практикума [12], и крейзы, и наночастицы выглядят гораздо упорядоченнее, причем это воспроизводимо проявляется на примере обоих приведённых сканов.

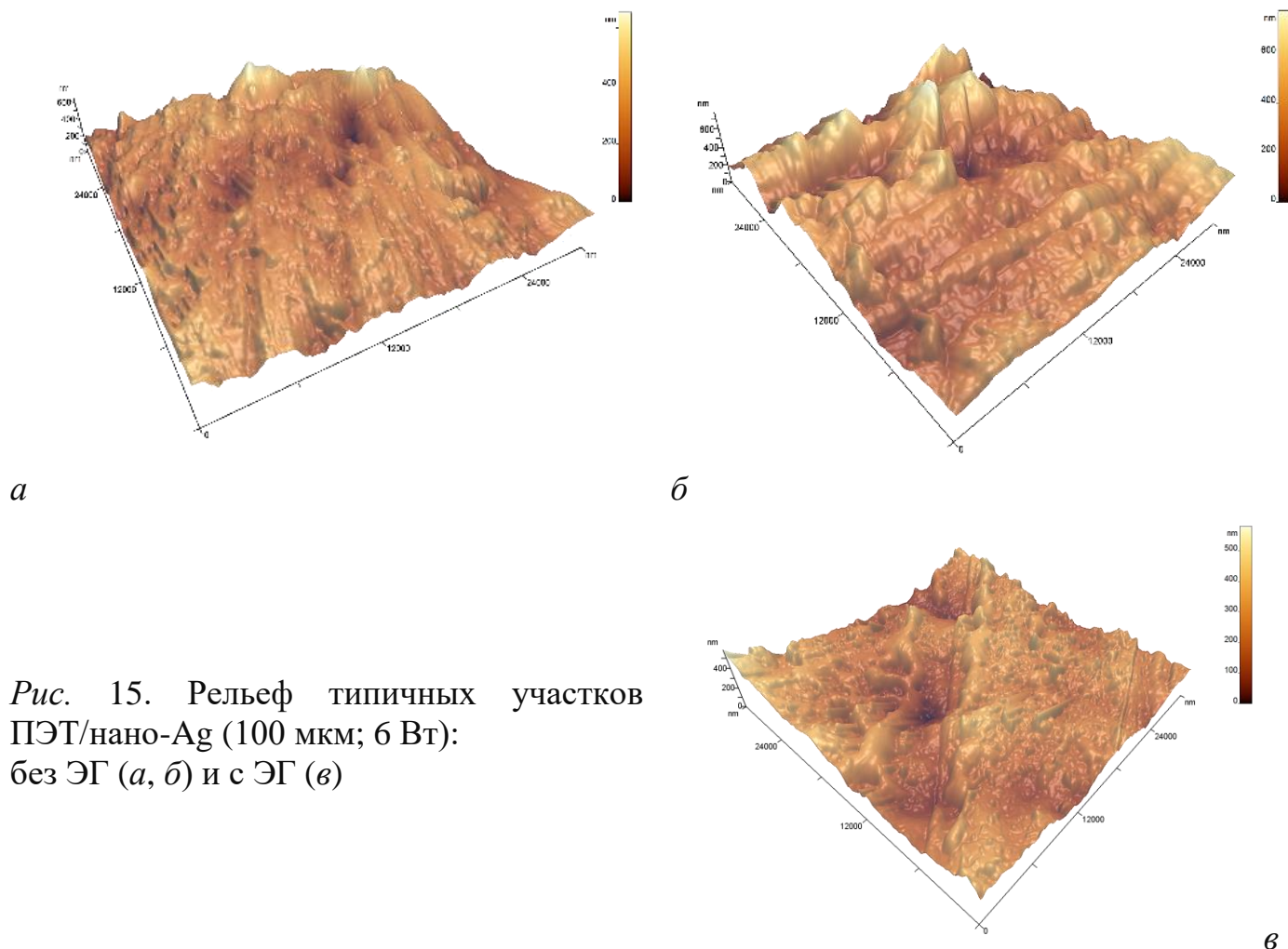
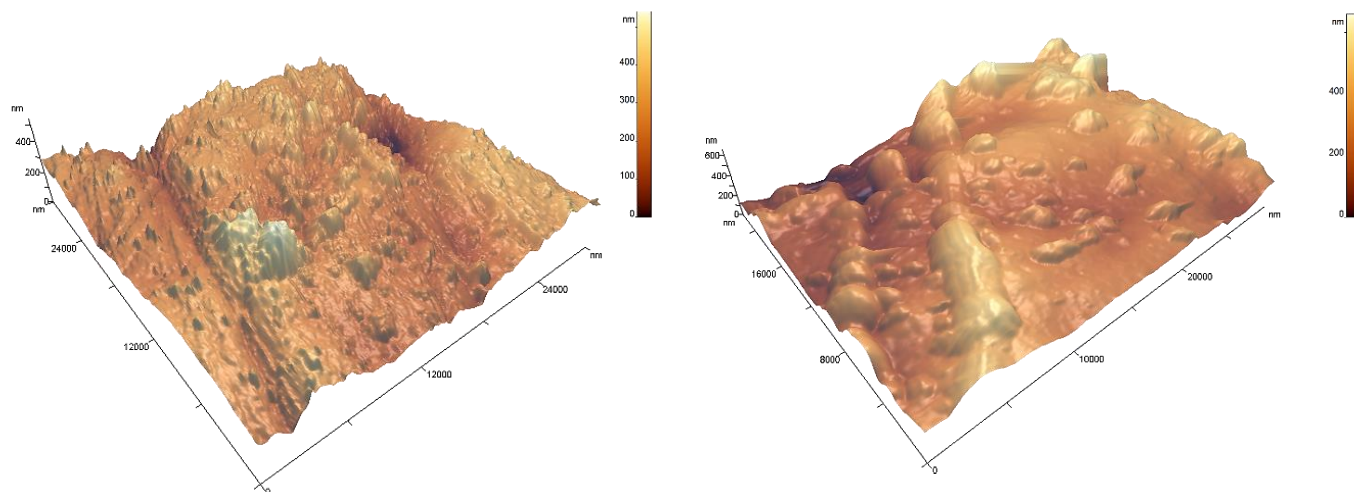


Рис. 15. Рельеф типичных участков ПЭТ/нано-Ag (100 мкм; 6 Вт): без ЭГ (а, б) и с ЭГ (в)

Теперь рассмотрим пару композитов (различающихся только наличием или отсутствием ЭГ) с исходной толщиной плёнки ПЭТ, равной 100 мкм, и мощностью УФ облучения 120 Вт (рис. 16). И снова в отсутствие этиленгликоля, т.е. при термодеструкции реактива Толленса, приготовленного строго по методике из практикума [12], и крейзы, и наночастицы выглядят гораздо упорядоченнее, т.е. вывод об оптимальности применения реактива Толленса без добавок для синтеза *in situ* нано-Ag в крейзах ПЭТ подтвердился троекратно: по ЭСП и двум сериям СЗМ.



*а* *б*  
 Рис. 16. Рельеф типичных участков ПЭТ/Ag (100 мкм; 120 Вт): без ЭГ (*а*) и с ЭГ (*б*)

### Выводы

Каждая поставленная задача в той или иной степени выполнена:

1. Основным инструментом, позволяющим регулировать структуру золя nano-Ag для последующего получения противоожоговых гидрогелей – концентрация декстрана и степень его очистки.
2. По данным электронной спектроскопии поглощения, по мере увеличения отношения  $n(\text{восст. сахаров в составе декстрана}) : n(\text{Ag}^+)$  от 16 : 1 до 64 : 1 интенсивность максимума поглощения полосы плазмонного резонанса увеличивается с 0.4 до ~4.5 отн. ед.
3. По данным СЗМ, диаметр нанонитей декстрана составляет ~ 9–14 нм; толщина нанонитей увеличивается симбатно увеличению концентрации декстрана; наличие наночастиц Ag меняет взаимное расположение этих нитей.
4. Метод ПЭМ подтвердил основные результаты, полученные методом СЗМ.
5. Эффективность гидрогелей для заживления ожоговых ран установлена, по требованию м.б. предоставлены соответствующие данные.

Суммируя результаты этого учебного года.

1. Обнаружено, что для создания нанокompозитов ПЭТ/Ag оптимален синтез nano-Ag термодеструкцией реактива Толленса по [12] (после крейзинга ПЭТ и его гидрофилизации УФ облучением; мощность 120 Вт предпочтительнее, чем 6 Вт).
2. Для плёнок различной толщины электронных спектров, показал, что количество нанесённого nano-Ag изменяется симбатно мощности УФ-облучения ПЭТ при гидрофилизации и что наночастицы серебра близки к изотропным. Хотя данными СЗМ это пока не подтвердилось.
3. И по данным СЗМ, и по виду электронных спектров установлено, что чем толще исходная пленка, тем глубже крейзы и тем более чётко сформированы nano-Ag.
4. По данным СЗМ, без этиленгликоля образуются более упорядоченные образцы, чем с этиленгликолем – при мощности УФ облучения как 6 Вт, так и 120 Вт.

### Список литературы

1. Silver Nanoparticle Synthesis Using Monosaccharides and Their Growth Inhibitory Activity against Gram-Negative and Positive Bacteria / Pettegrew, Colin & Dong, Zheng

- & Muhi, M. & Pease, Scott & Mottaleb, M Abdul & Islam, Rafiq // *ISRN Nanotechnology*. – 2014. – PP. 1–8.
2. Gold nanoparticles in delivery applications / P. Ghosh, G. Han, M. De, C. K. Kim, and V. M. Rotello // *Advanced Drug Delivery Reviews*. – 2008. – V. 60. – № 11. – PP. 1307–1315.
3. Onestep synthesis of gold nanoparticles using azacryptand and their applications in SERS and catalysis / K. Y. Lee, J. Hwang, Y. W. Lee, J. Kim, and S. W. Han // *Journal of Colloid and Interface Science*. – V. 316. – № 2. – PP. 476–481.
4. Noble metals on the nanoscale: optical and photothermal properties and some applications in imaging, sensing, biology, and medicine / P. K. Jain, X. Huang, I. H. El-Sayed, and M. A. El-Sayed // *Accounts of Chemical Research*. – V. 41. – № 12. – PP. 1578–1586.
5. Chemical sensing and imaging with metallic nanorods / C. J. Murphy, A. M. Gole, S. E. Hunyadi et al. // *Chemical Communications*. – V. 8. – № 5. – PP. 544–557.
6. Biological pH sensing based on surface enhanced Raman scattering through a 2-aminothiophenol-silver probe / Z. Wang, A. Bonoiu, M. Samoc, Y. Cui, and P. N. Prasad // *Biosensors and Bioelectronics*. – V. 23. – № 6. – PP. 886–891.
7. Microdetermination of proteins by resonance light scattering technique based on aggregation of ferric nanoparticles / Z. Shu-hong, F. Yong-shan, F. Shuo, and Z. Yun-feng // *Spectrochimica Acta A*. – V. 72. – № 4 – PP. 748–752.
8. Silver nanocubes formed on ATP-mediated nafion film and a visual method for formaldehyde / Q. Zhang, C. Z. Huang, J. Ling, and Y. F. Li // *Journal of Physical Chemistry B*. – 2008. – V. 112. – № 51. – PP. 16990–16994.
9. Методы синтеза наночастиц с плазмонным резонансом / Богатырев В.А. [и др.] – Текст : непосредственный // Саратов, СГУ им. Н. Г. Чернышевского. – 2009. – С. 35.
10. Chen S., Drehmel J.R. and Penn R.L. Facile Synthesis of Monodispersed Ag NPs in Ethylene Glycol Using Mixed Capping Agents // *Omega*. 2020. V. 5. No. 11. 6069–6073
11. In situ characterization of silver nanoparticle synthesis in maltodextrin supramolecular structures. / Bell, Nelson & Dunphy, Darren & Lambert, Timothy & lu, Ping & Boyle, Timothy // *Colloids Surf B Biointerfaces*. – 2015. – V. 134. – PP. 98-104.
12. Практикум по наноматериалам и нанотехнологиям. / Щербаков А. Б., Иванов В. К. – Текст : непосредственный // Изд-во Моск. ун-та, Москва. – 2019. – С. 368.
13. Synthesis, characterization and antimicrobial activity of dextran stabilized silver nanoparticles in aqueous medium / K.P. Bankura, D. Maity, M.M.R. Mollick, D. Mondal, B. Bhowmick, M.K. Bain, A. Chakraborty, J. Sarkar, K. Acharya, D. Chattopadhyay // *Carbohydrate Polymers*. – 2012. – V. 89. – № 4. –PP. 1159–1165.
14. Addiego, Frédéric & Dahoun, A. & G'Sell, Christian & Hiver, Jean-Marie & Godard, Olivier. (2009). Effect of Microstructure on Crazing Onset in Polyethylene Under Tension. *Polymer Engineering & Science*. 49. PP. 1198–1205. 10.1002/pen.21194.
15. Amir Reza Abbasi, Hamideh Kalantary, Mohammad Yousefi, Ali Ramazani, Ali Morsali, Synthesis and Characterization of Ag Nanoparticles@Polyethylene fibers under Ultrasound irradiation // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2012. T. 19. C. 853-857.
16. Аржаков О.В., Долгова А.А., Рухля Е.Г., Зезин А. А., Зезин Е. А., Вольтинский А.Л. Радиационно-химическое восстановление ионов меди в нанопористых матрицах на основе полиэтилена высокой плотности. // *Журнал общей химии*. 2019. Т. 89, № 1. С. 128–135.

17. Сканирующая зондовая микроскопия 2D наноразмерных структур для энергонакопителей и катализаторов / Яминский И.В., Ахметова А.И., Мешков Г.Б. и др. Текст : непосредственный // Наноиндустрия. – 2019. – Т. 12. – № 2. – С. 148–151
18. Степанова Д.К. Наносеребро для спасения спасателей // Потенциал (Химия. Биология. Медицина). 2021. № 4(82). С. 16–24.