

# Исследование сканирующим зондовым микроскопом рельефа отложений, остающихся после испарения воды.

Над проектом  
работали:  
**Д.Д.Меховская**  
**А.А.Темиряева**

Руководитель работы:  
**к.ф.-м.н. Кармазин С.**  
**В.**

Студия «Наукоград»  
программы  
«Уроки настоящего»



Фрязино. 2017



# Введение от научного руководителя

По инициативе родителей учащихся нашей гимназии (сотрудников Института радиотехники и электроники РАН) и благодаря поддержке этой инициативы администрацией наукограда Фрязино, в систему среднего образования города, а конкретно, именно в нашу гимназию, в 2017 г. передан **сканирующий зондовый микроскоп Solver PRO 47**. Это сделано для того, чтобы старшеклассники наукограда в рамках решения вопросов профессиональной ориентации и обеспечения предприятий города молодыми кадрами имели возможность подробнее ознакомиться с современным научным оборудованием, а также проводить самостоятельные исследования под руководством квалифицированных специалистов в области физики твердого тела и зондовой микроскопии. Микроскоп в гимназии был введен в эксплуатацию полтора месяца назад и в настоящий момент происходит изучение его возможностей и освоение методов работы с ним.

Имея в своем распоряжении столь уникальное для школы оборудование и увидев слово НАНО в задании очередного цикла Уроков настоящего, мы не смогли удержаться от соблазна продемонстрировать наши возможности на примере самых первых экспериментов с зондовым сканирующим микроскопом. К сожалению, мы не располагаем оборудованием и квалификацией для проведения экспериментов в области биотехнологий на молекулярном уровне. Наше оборудование предназначено исключительно для **наблюдения и измерения** объектов и рельефов с размерами порядка нанометров.

# Введение

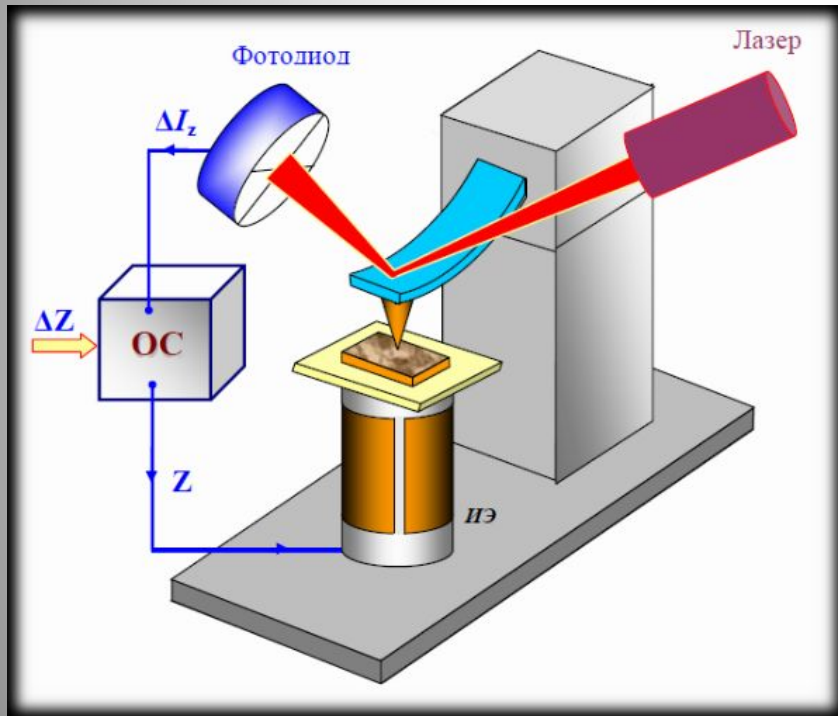
**Цель** данной работы заключается в первоначальном изучении возможностей атомно-силового сканирующего микроскопа и приобретении первичных навыков работы с ним.

В качестве **образцов для исследований** были выбраны предметные стекла, как наиболее гладкие из доступных нам объектов и которые, согласно нашим ожиданиям, дадут возможность наилучшим образом оценить разрешение микроскопа по вертикальной оси.

Для создания **рельефа**, пригодного для дальнейшего изучения, сравнения и анализа, мы наносили на стекло каплю водопроводной воды, испаряли ее и исследовали рельеф отложений. Следующий шаг заключался в попытках удалить со стекла образовавшиеся после испарения воды отложения и контроле состояния поверхности стекла после этих попыток.

- По результатам предварительных исследований мы рассчитываем в дальнейшем:
  - 1) выяснить, возможна ли оценка качества питьевой воды (количество растворенных в ней веществ и механических примесей) с помощью сканирующего зондового микроскопа и, в случае положительного ответа на этот вопрос, разработать методику такой оценки;
  - 2) изучить способы надежного удаления с поверхности стекла отложений, остающихся на этой поверхности после испарения воды.

# Принцип работы атомно-силового сканирующего микроскопа



Принцип работы атомно-силового микроскопа основан на регистрации силового взаимодействия между поверхностью исследуемого образца и зондом. В качестве зонда используется наноразмерное остриё, располагающееся на конце упругой консоли, называемой кантилевером. Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли. Появление возвышенностей или впадин под остриём приводит к изменению силы, действующей на зонд, а значит, и изменению величины изгиба кантилевера. Таким образом, регистрируя величину изгиба, можно сделать вывод о рельефе поверхности.

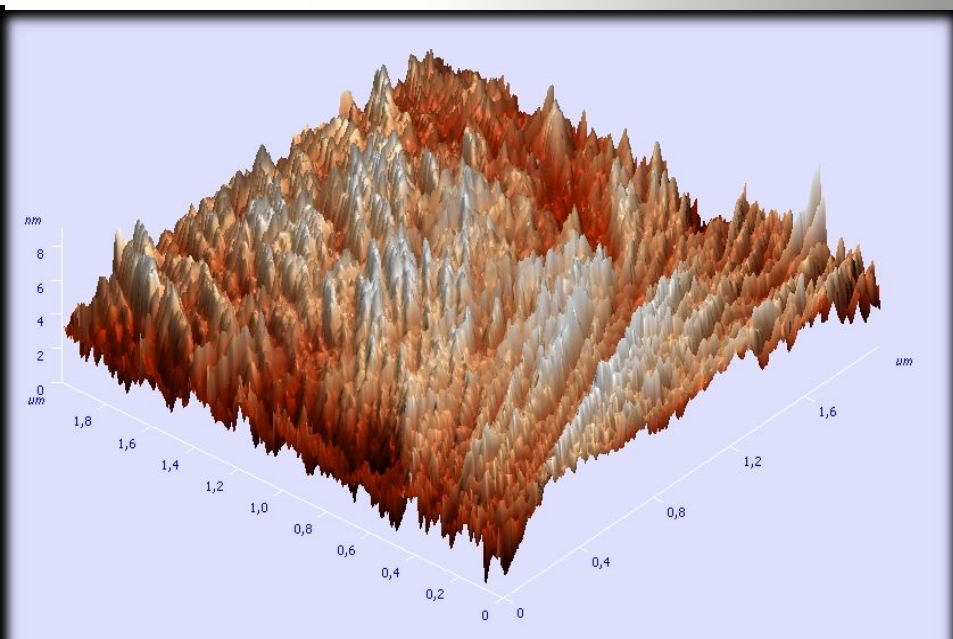
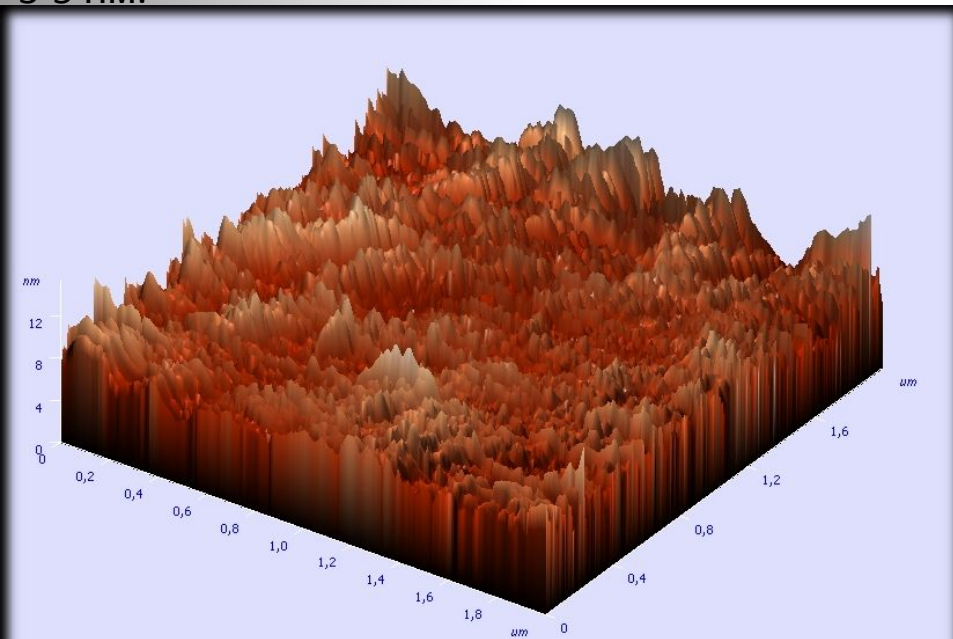


Осваиваем  
технологии  
настройки  
режимов  
сканирования



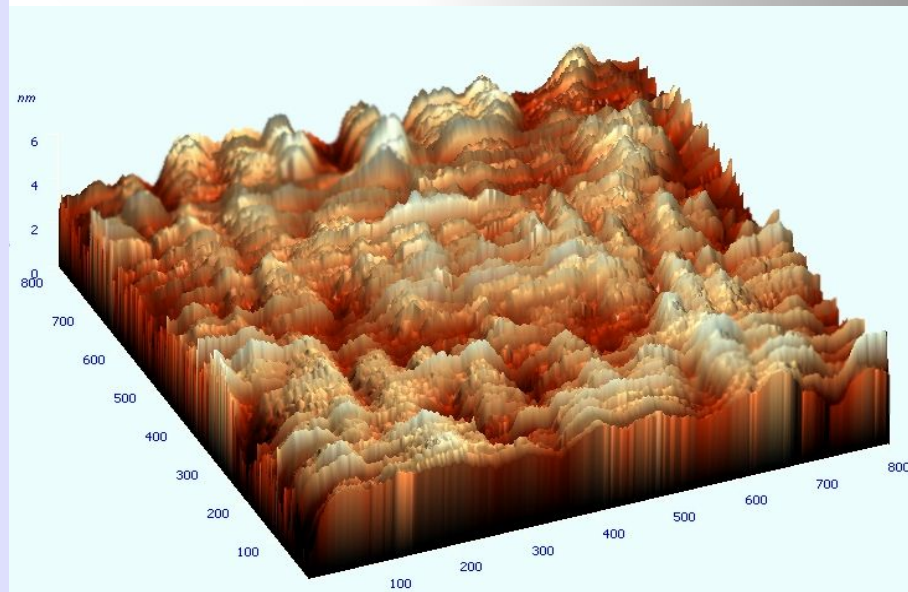
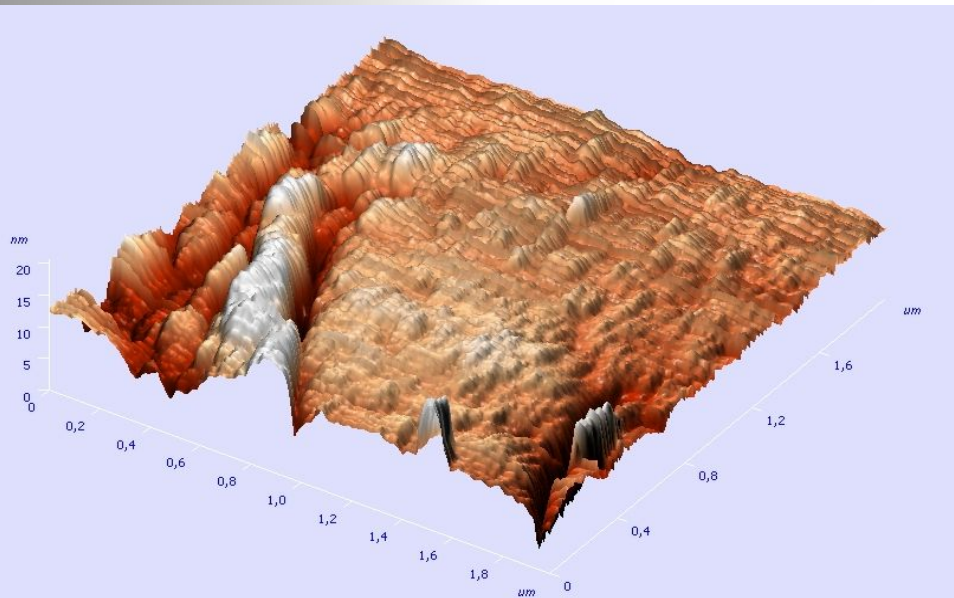
Готовим образцы к исследованию

Здесь представлены изображения квадратных участков размером 2 x 2 микрометра, полученные нами на двух различных чистых стеклах. Перед исследованием поверхность стекол тщательно протиралась ацетоном и уксусной кислотой. Видно, что характер рельефа на этих стеклах примерно одинаковый. На правом изображении видны не глубокие царапины, по направлению, не совпадающие с направлением сканирования, что исключает их возникновение из-за каких-то аппаратных эффектов. Общим для обоих изображений является то, что высота неровностей, имеющих «игольчатый» характер, составляет величину порядка 3-5 нм.

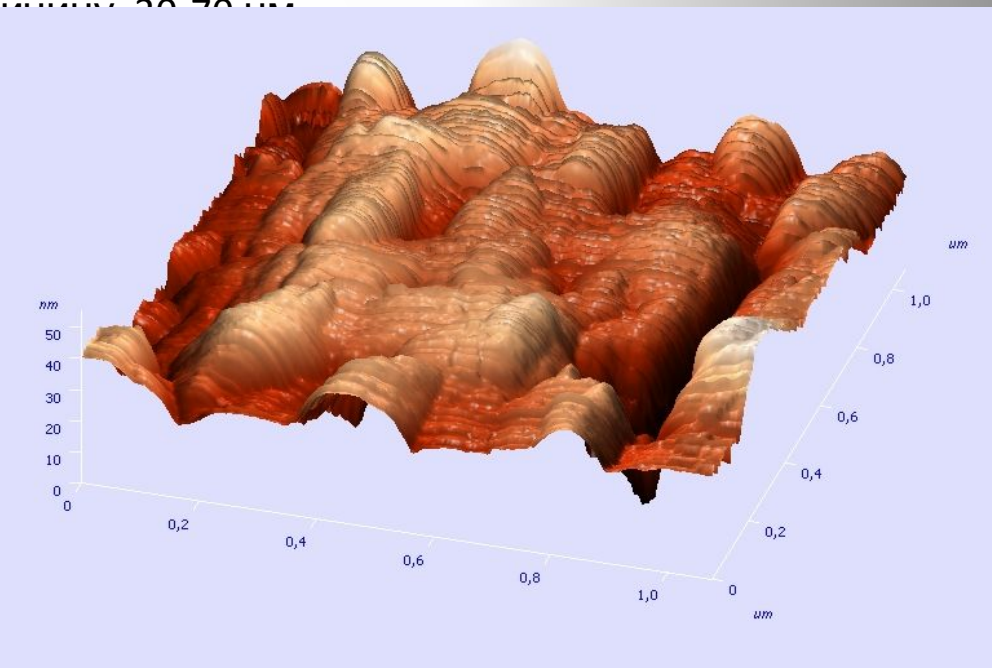
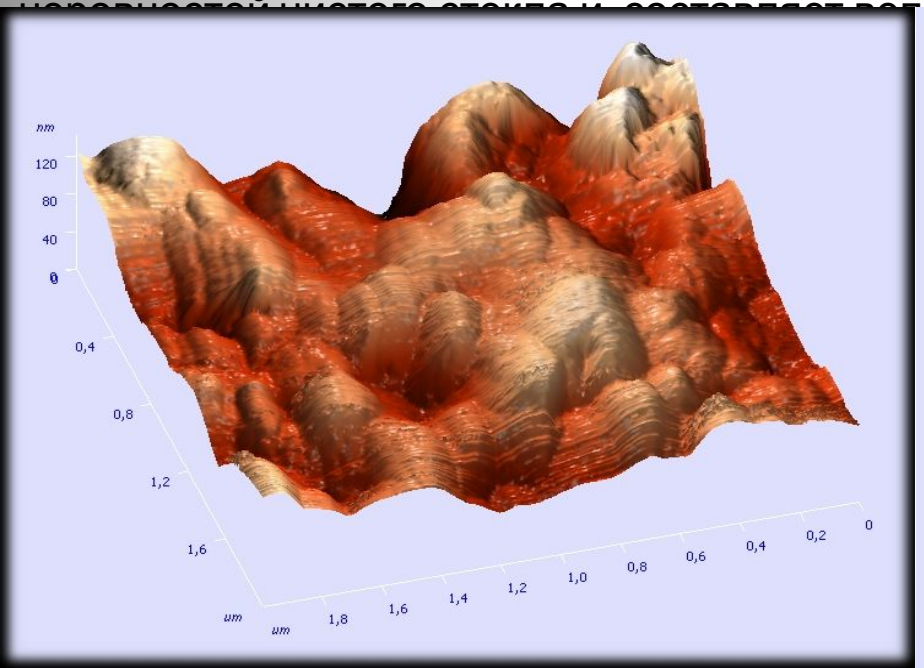




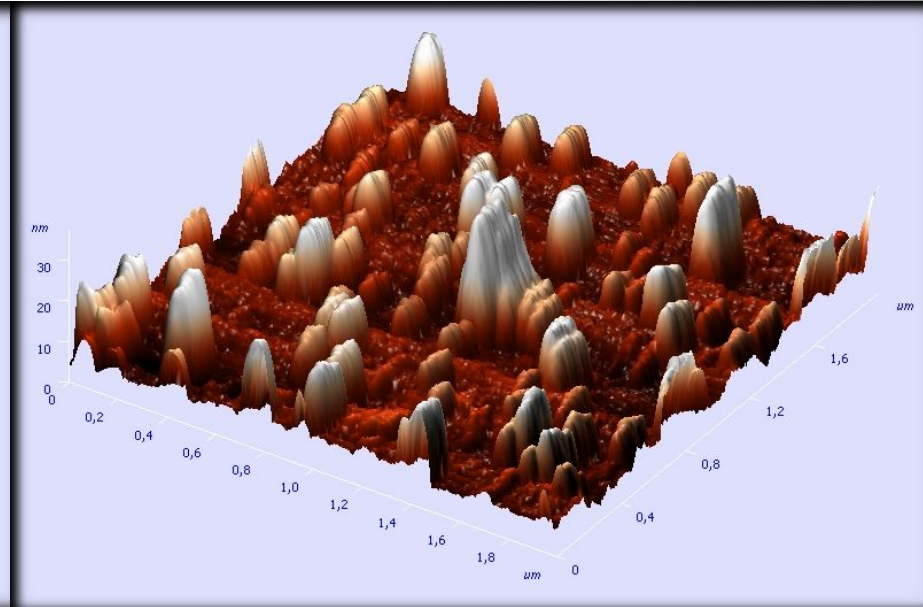
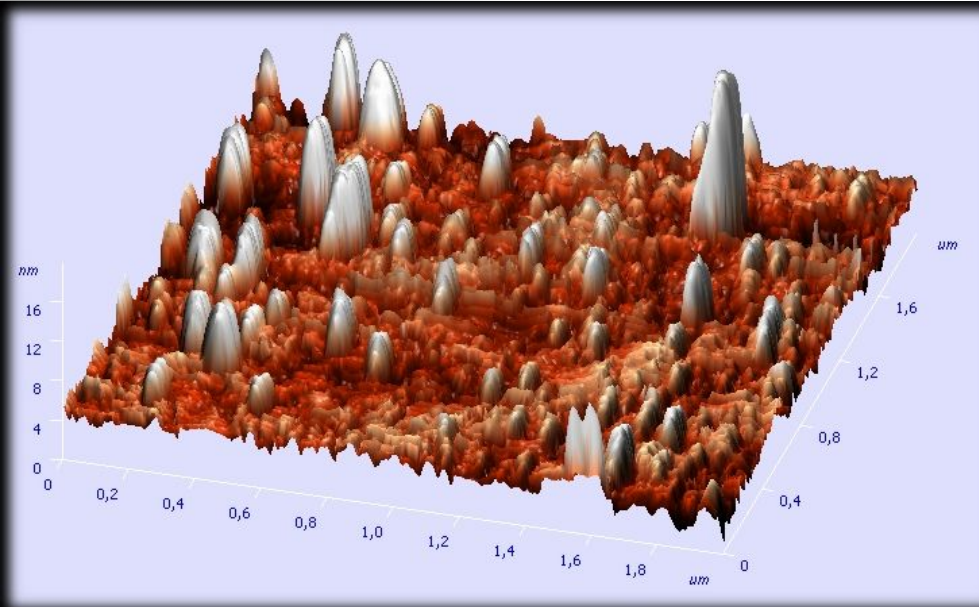
на этом слайде представлено изображение другого участка размером  $2 \times 2 \text{ мкм}$  одного из стекол и фрагмент его наиболее ровного участка размером  $0,8 \times 0,8 \text{ мкм}$ . В данном случае в сканируемую зону попали какие-то дефекты поверхности стекла с характерными размерами по высоте порядка  $10\text{-}15 \text{ нм}$ . Вместе с тем характерные вертикальные размеры неровностей на наиболее гладком участке поверхности не превышают  $2\text{-}4 \text{ нм}$ . На изображении, полученном при более высоком разрешении по горизонтальным осям, четко видны плоскости сканирования. Их присутствие обусловлено тем, что на данный момент мы еще не полностью освоили технологию обработки изображений СЗМ специально предназначенной для этого программой



Далее, на чистое стекло наносилась капля водопроводной воды и тщательно высушивалась. При этом на стекле оставался характерный след, образованный оставшимися после испарения веществами. С такими следами от испарившихся капель воды упорно борются хозяйки, добиваясь идеальной чистоты оконных стекол и зеркал. Чтобы избежать их возникновения на автомобилях, машины после мойки тщательно вытирают. На представленных изображениях двух различных участков видно, что характер рельефа на поверхности образующихся отложений существенно отличается от «игольчатой» поверхности чистого стекла. Характерный перепад высот на этих изображениях на порядок больше



На заключительном этапе исследований нами предпринимались попытки удалить образовавшиеся отложения. Для этого стекла тщательно и многократно протирались уксусной кислотой. Почему именно уксусной кислотой? Потому что уксусную кислоту используют для очистки чайников от накипи. После обработки поверхности стекл обнаружить следы отложений невооруженным глазом не удавалось. Однако, проведенные исследования с помощью СЗМ показали, что уксусная кислота не удаляет отложения полностью, или обработка кислотой проводилась недостаточно тщательно. На представленных изображениях видно, что на поверхности, похожей на поверхность чистого стекла, остаются локальные неровности с вертикальными размерами до 15-20 нм.



# Выводы:

1. Проведены первые опыты по использованию сканирующего атомно-силового микроскопа для наблюдения структур с размерами рельефа порядка нанометров.
2. Показано, что характерный **размер неровностей на поверхности чистого стекла** составляет величину порядка 2-5 нм.
3. Обнаружено, что характерный **размер неровностей на поверхности отложений**, остающихся на стекле после испарения с него капли водопроводной воды составляет несколько десятков нанометров.
4. Установлено, что обработка стекла уксусной кислотой **приводит к частичному удалению** образовавшихся отложений, но не устраняет их полностью.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**