

УДК 372.854

**О РЕАЛИЗАЦИИ КУРСОВ ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ  
ПО НАНОХИМИЧЕСКОМУ  
ЭКСПЕРИМЕНТУ В РАМКАХ  
ГОРОДСКИХ ПРОЕКТОВ  
ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ**

**Аннотация.** Одним из направлений развития городских проектов предпрофессионального образования в Москве является повышение роли проектной и исследовательской деятельности, применение ее для реализации новых методов обучения и образовательных практик. В этом смысле введение нанохимических подходов в школьную проектную активность выводит ее на новый экспериментальный и идейный уровень. Для поддержки нанохимического эксперимента в проектной и исследовательской деятельности в 2024/25 учебном году со стороны Института развития профильного обучения ГАОУ МГПУ были организованы курсы повышения квалификации для педагогов. В рамках курсов слушатели получали навык синтеза и стабилизации наноструктур, работы с атомно-силовым микроскопом, проведения опытов по фотокатализу. По итогам курсов слушатели показали систематическое улучшение результатов тестирования по материалу курсов. Материалы курсов способствовали созданию проектных работ обучающихся под руководством слушателей и их успешному представлению на городских открытых научно-практических конференциях.

**Ключевые слова:** курсы повышения квалификации, проекты предпрофессионального образования, нанохимия, проектная деятельность.



**Любовь Николаевна Оболенская,**  
Институт развития профильного  
обучения,  
ГАОУ ВО «Московский городской  
педагогический университет»,  
г. Москва, Россия  
E-mail: obolenskayaln385@mgpu.ru



**Олег Владимирович Колясников,**  
Институт развития профильного  
обучения,  
Цифровая школа МГПУ,  
ГАОУ ВО «Московский городской  
педагогический университет»,  
г. Москва, Россия  
E-mail: kolyasnikovov@mgpu.ru

---

**Как цитировать статью:** Оболенская Л. Н., Колясников О. В., Кузнецова Е. В. О реализации курсов повышения квалификации для учителей по нанохимическому эксперименту в рамках городских проектов предпрофессионального образования // Образ действия. 2025. Вып. 3 «Математическое и естественно-научное общее образование (лучшие практики)». С. 100–118.

## Введение

В последние годы в Москве активно развиваются проекты предпрофессионального образования. В рамках реализации этих проектов в московских школах появился доступ к высокотехнологичному оборудованию, позволяющему существенно повысить уровень проектной и исследовательской работы обучающихся. В настоящей статье представлены алгоритмы выполнения нанохимических экспериментов, позволяющих реализовать возможности оборудования предпрофессиональных классов для выполнения проектов на высоком научном уровне.

Эти проекты/исследования отличает:

- доступность выполнения;
- объективная научная новизна;
- интерес экспертов на конкурсах и конференциях школьных проектных работ.

Поясним, что делает область нанотехнологий настолько увлекательной для выполнения проектов в профильных классах. Чтобы обнаружить новые факты, корреляции и закономерности в области традиционного неорганического и органического синтеза, нужно посвятить изучению вопроса много лет, к чему склонна очень малая часть людей. Потому что «сказать новое слово» с точки зрения химического состава вещества крайне трудно. Отличительной чертой наноматериалов являются так называемые размерно-зависимые эффекты. Так, по химическому составу образцы «квантовых точек» могут быть идентичны (например, один и тот же теллурид кадмия), а по фотолюминесцентным свойствам разительно отличаться и друг от друга, и тем более от крупнодисперсного CdTe. С научной точки зрения оказывается интересным варьирование не только химического состава материалов, но и их дисперсности. При этом дисперсностью управлять гораздо легче. Поэтому очень часто методика



**Елена Валерьевна Кузнецова,**  
*Институт развития профильного  
обучения,  
ГАОУ ВО «Московский городской  
педагогический университет»,  
г. Москва, Россия  
E-mail: kuznecovaev@mgpu.ru*

синтеза нанобъектов — это целый набор возможностей получения серий образцов, различающихся дисперсностью и/или кристаллической структурой (и, как следствие, эксплуатационными характеристиками). Например, в статье [13] рассмотрен процесс синтеза нанокристаллического оксида титана (IV) в форме анатаза, модифицированного оксидами марганца для лучшей реакции на видимый свет. Этот процесс состоит из трех стадий: введение в реакционную смесь окисленной формы марганца ( $\text{KMnO}_4$ ); термостатирование реакционной смеси для кристаллизации наноанатаза из оксо-форм титана (IV); введение аммиака, который служит восстановителем для образования оксидов марганца. Авторам удалось, в соответствии с классической триадой «синтез — структура — свойства», установить корреляции между последовательностью стадий, фазовым составом продукта и его фотокаталитической активностью в реакции деструкции триазолового фунгицида (рис. 1).



Рисунок 1. Влияние условий синтеза на фотокаталитические свойства (видимый диапазон) [13]; на гистограмме по оси ординат — значения констант скорости фотокаталитических реакций в присутствии полученных образцов (в мин<sup>-1</sup>)

### Цель статьи

Целью настоящей статьи служит детальное описание содержания курса, призванного обеспечить учителей алгоритмами и приемами выполнения широкого спектра нанотехнологических школьных проектных и исследовательских работ. Эти курсы задуманы как продолжение курсов по использованию химического оборудования предпрофессиональных классов в проектной и исследовательской деятельности [3; 9]. Организация работы на курсах включает в себя разделение слушателей на команды. Алгоритмы синтеза для разных команд отличаются значением ровно одного параметра.

тра (например, количества одного из реагентов). В результате занятия слушатели сообща получают серию образцов для поиска однофакторных корреляций.

## Результаты

### *Пошаговое описание программы курсов*

Первое занятие содержит вводную лекцию об особенностях получения и стабилизации наночастиц на конкретном, одном из самых ярких в прямом и переносном смысле слова примере полиглюканового метода синтеза наносеребра, базовый вариант которого адаптирован для школьников и младшекурсников авторами «Практикума по наноматериалам и нанотехнологиям», изданного недавно в МГУ [11]. Было показано, что самопроизвольно наночастицы неизбежно объединяются в агрегаты из-за большой доли поверхностных атомов с «нескомпенсированными валентностями» на поверхности частиц — границе раздела фаз, как описано в учебном пособии В. В. Еремина, А. А. Дроздова [2] (рис. 2).

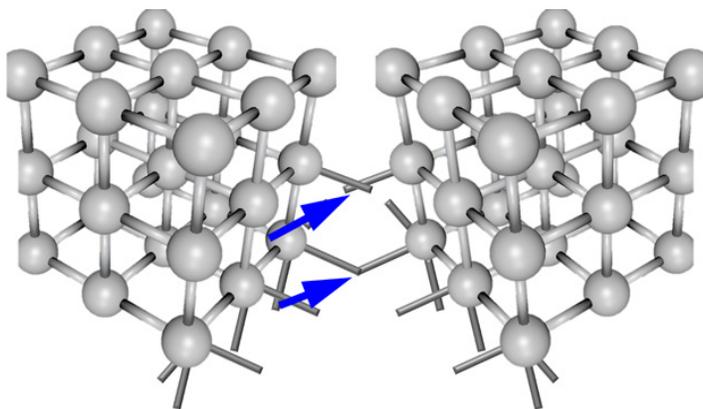
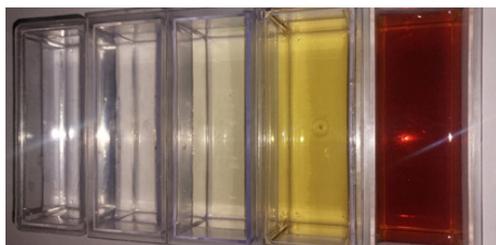


Рисунок 2. Объединение наночастиц из-за многочисленных «нескомпенсированных валентностей» на поверхности

Защищать наночастицы от агрегации можно стерически (как это и происходит при полиглюкановом методе синтеза наносеребра), электростатически (так стабилизированы нанообъекты на последующих занятиях) и т. д. В ходе занятия слушатели выполняли синтез наночастиц серебра, восстанавливая катионы серебра мальтодекстрином (ДЭ 4–6) и кондиционируя реакционную смесь подщелачиванием. При этом слушатели делились на четыре команды, для которых синтезы различались объемом вводимого в реакционную смесь 1М раствора NaOH. В результате получалась серия образцов (рис. 3, а) с градиентом окраски от лимонно-желтой (при итогово-

вой концентрации NaOH 0,8 мМ) до темно-бордовой (при 9,7 мМ NaOH); этот же градиент в обратном порядке воспроизводился при разбавлении последнего, самого темного золя (рис. 3, б). Так, слушатели убедились, что чем выше концентрация NaOH, тем больше концентрация наночастиц, тем заметнее у золя сдвиг максимума поглощения в область бóльших длин волн фотонов, частота которых соответствует частоте плазмона [12]. Заметим, что, когда при наименьшей концентрации щелочи из рассматриваемого диапазона окраска еще не видна, формирование наночастиц легко показывается проявлением эффекта Тиндаля (рис. 3, в).



а



б



в

Рисунок 3. Золи наносеребра, полученные полиглюкановым методом (а); серия разбавлений наиболее интенсивно окрашенного золя (б); сопоставление светорассеяния наночастицами (слева) и молекулами (справа) (в)

Визуальное различие окраски очень полезно для понимания наших возможностей варьирования свойств коллоидной системы, что способствует мотивации к экспериментальной работе. Но тут следует отметить, что для XXI века крайне желательно получение прецизионных числовых данных и их сопоставление. Для этого можно использовать датчики-фотометры с определяемой длиной волны 405 нм и 475 нм. С их помощью, кратно разбавляя золи при необходимости, слушатели воспроизводимо получали картину монотонного увеличения оптической плотности по мере увеличения содержания щелочи (табл. 1). Что хочется отметить в качестве наглядной иллюстрации «Сциллы и Харибды» нанохимического синтеза: реакция пройти должна, то есть потенциальный барьер должен быть преодолен, но «еле-еле», чтобы зародыши частиц продукта не смогли укрупниться. Если протеканию реакции помешали «недостаточно», образуется грубодисперсный продукт (в этом примере — черные микрочастицы серебра при увеличении  $c(\text{NaOH})$ ). Если же протеканию реакции помешали «слишком» (например, понижением исходной концентрации нитрата серебра или введением слишком большого количества аммиака), восстановление серебра вообще не пройдет за разумное время в той степени, которая достаточна для фотометрической детекции продукта.

Таблица 1

**Влияние количества введенной щелочи на оптические свойства зольей**

Объем раствора щелочи* (мкл)	60	270	550	750
Оптическая плотность при 405 нм	0,185	0,224	0,550	1,712
Оптическая плотность при 475 нм	0,103	0,114	0,190	1,602

\* Раствор 1М NaOH; вводился в порцию реакционной смеси объемом 75 мл.

В завершение каждая команда приготовила из своего золя препарат для исследования морфологии методом сканирующей зондовой микроскопии: двусторонним скотчем наклеивали квадратик слюды на стальную «шайбу» и капали на него каплю золя объемом 10–20 мкл автоматическим дозатором.

На втором занятии в лекционной части был дан максимально полный обзор особенностей различных типов наноструктурированных систем и их применения в современной жизни, предвосхищенных в 1960 году Ричардом Фейнманом [10]. Основные акценты были сделаны на:

– пути создания наноструктур (физическими методами «сверху вниз» и, более многообразно и перспективно, химическими методами «снизу вверх»);

– «размерные эффекты» (эффект лотоса для наностержней оксида цинка, управляемая длина волны максимума фотолюминесценции квантовых точек, суперпарамагнетизм, сверхпрочность, сверхпроводимость, сверхъяркость, обратный осмос и т. д.);

– методы корректной визуализации и изучения нанообъектов (разновидности электронной и зондовой микроскопии, рентгенофазовый анализ и т. д.).

Практическая часть второго занятия была логичным продолжением первого. Полученные ранее золи наносеребра снова изучали фотометрически, но на этот раз доступным в школах планшетным фотометром для ИФА, наблюдая, как кратные разбавления влияют на спектральные свойства (рис. 4).

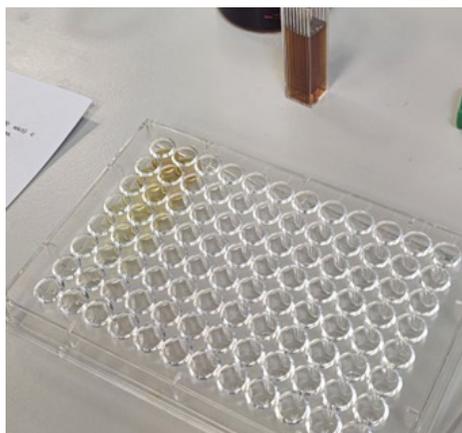


Рисунок 4. Лунки фотометрического планшетта, заполненные серийными разбавлениями золя

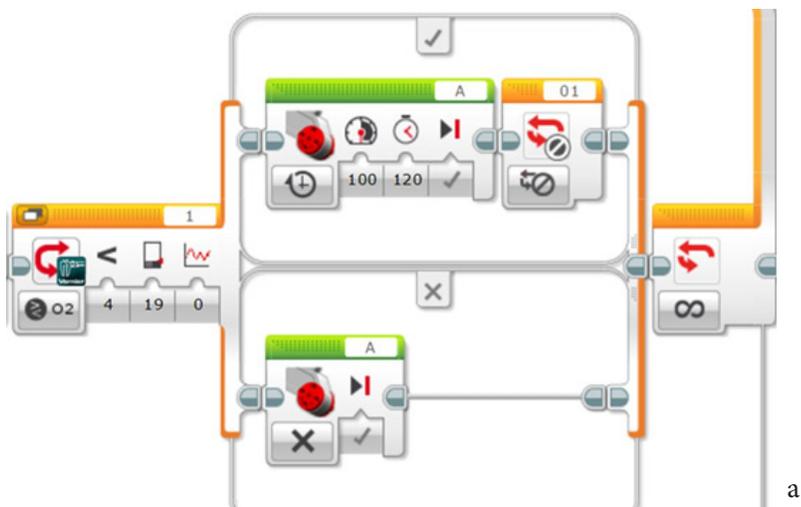
Далее слушатели переводили полученные ими золи в готовую недозированную жидкую лекарственную форму — полиакрилатный гель (рис. 5).



Рисунок 5. Полиакрилатный гель, полученный из золя наносеребра

Кроме того, слушатели осваивали альтернативный способ получения микронных нанопленок серебра термолизом популярного в школах реактива Толленса. На занятии в роли подложки были предметное и покровное стекла для последующей оптической и атомно-силовой микроскопии соответственно; в целом этот метод позволяет также придавать антибактериальные свойства ткани [11]. Следующим шагом алгоритма выполнения проектной работы тут может быть проверка бактериостатических свойств продукта безопасным в школьных условиях способом: инкубацией стерилизованного молока/сливок с закваской ацидофильной палочки в присутствии наносеребра с различной концентрацией и без него (контрольный образец). В целом при таком подходе прототип проекта готов: проведен синтез серии образцов с варьированием одного параметра, изучены спектральные характеристики продуктов и их эксплуатационные свойства. Но это еще не все: поскольку во многих школах — участницах проектов предпрофессионального образования есть атомно-силовые микроскопы, на четвертом занятии прототип проекта будет дополнен сканированием рельефа ранее полученных пленок на слюде и покровных стеклах.

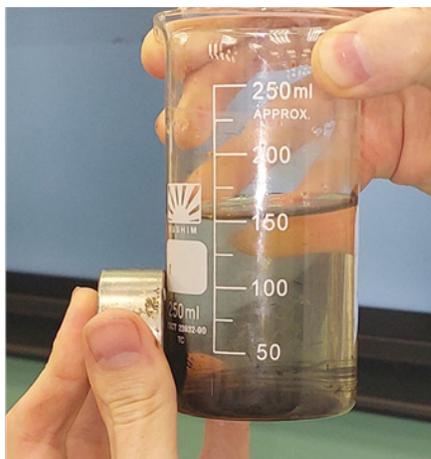
Лекционная часть третьего занятия была посвящена неочевидному ресурсу для изготовления в школе широчайшего спектра современных лабораторных роботизированных установок, интересных учащимся (которые легко и охотно их программируют и собирают). Эти установки крайне облегчают и повышают качество эксперимента, в том числе нанохимического. Это наборы LEGO MINDSTORMS®, интегрированные с физико-химическими датчиками Vernier [1; 7]. Эта информация наиболее актуальна именно на третьем занятии потому, что в его практической части слушатели выполняли синтез наномагнетита методом «гомогенного осаждения» и более привычная для школ магнитная мешалка оказывалась гораздо менее оптимальна, чем верхнеприводная. Здесь было уместно начать практику со сборки и программирования роботизированных LEGO-мешалок по детальным инструкциям. Следует отметить, что установку с мешалкой можно сделать «умной», снабдив обратной связью. Например, контроллер регулярно опрашивает датчик, измеряющий pH, температуру или другой параметр реакционной смеси. Далее контроллер сравнивает полученные при помощи датчика значения с пороговыми значениями, заложенными в цикле «если — то»: если pH или температура больше какого-либо заданного нами значения, действие (например, перемешивание) выполняется; при переходе через это рубежное значение — перестает выполняться (рис. 6, а). В ходе курсов слушатели собрали и запрограммировали такие «умные» мешалки и далее применяли их для синтеза и цитратной стабилизации наномагнетита (рис. 6, б, в).



а



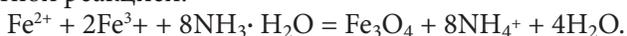
б



в

Рисунок 6. Фрагмент программы для роботизированной установки с «обратной связью» (а), вид установки для синтеза наномagnetита перед стартом (б) и вид продукта реакции (в)

При рассматриваемом способе синтеза наномagnetита, в отличие от предыдущего синтеза наносеребра, стабилизатором (цитрат-ионами) обрабатывают уже готовые наночастицы. Это позволяет наглядно показать: никакого нового, выходящего за рамки школы химизма процесса нет, химическое превращение реагентов в продукты идет в полном соответствии с общеизвестной реакцией:



Как и в любой реакции, твердофазный продукт сначала образуется в виде совсем маленьких, наноразмерных частиц — безо всяких специальных ухищрений. Точно так же, обращаем внимание слушателей, в ходе классической «школьной» реакции «серебряного зеркала» сначала, на несколько секунд, окраска становится соломенно-желтой. Согласно здравому смыслу: ни человеческий эмбрион не образуется сразу ростом, скажем, 1 см, ни частица твердого вещества не может единомоментно собраться из множества атомов (то есть стать в первую же секунду диаметром, например, 1 мкм), тем самым мы проходим при формировании фазу наноразмерных частиц.

Когда реакция образования магнетита проходила, это становилось очевидно по появлению черного магнитовосприимчивого осадка. Только после этого начинался собственно «нанохимический эксперимент». Слушатели делились на четыре команды. Согласно заданию, изложенному в рабочем листе, слушатели добавляли в коллоидную систему лимонную кислоту (от 0,2 моль до 0,4 моль на 1 моль железа, в зависимости от номера команды), затем нейтрализовали ее аммиаком, контролируя датчиком рН, и кипятили реакционную смесь (согласно адаптированной методике из [11]). Отметим, что в лекционной части первого занятия уже было показано в обзоре методов стабилизации наночастиц, как работает применяемая электростатическая стабилизация: цитрат-ионы придают поверхности наночастиц одноименный заряд, что приводит к взаимному отталкиванию наночастиц и, следовательно, к подавлению их агрегации. И снова был наглядно продемонстрирован тот же принцип «Сциллы и Харибды»: чем меньше использовали стабилизатора, тем менее устойчивы к укрупнению оказались наночастицы, но зато тем больше получили продукта после промывания и высушивания (мпракт. составила 0,35 г при мольном отношении лимонной кислоты к железу 0,2 : 1 и всего 0,02 г — при 0,4 : 1). Таким образом, в зависимости от приоритета (себестоимость катализатора или его активность, зависящая напрямую от дисперсности) можно выбирать необходимое количество кислоты для управления степенью диспергирования.

Интересно также, что синтез команды № 4 отличался от синтеза остальных команд, работавших с лимонной кислотой, длиной неполярной части молекулы стабилизатора: они применяли олеиновую кислоту. В результате механизм защиты от агрегации менялся на «образование мицелл, покрытых поверхностно-активными веществами, которые своей амфифильностью снимают «конфликт» на границе раздела фаз»; сами же наночастицы становились гидрофобными. Это определит путь их экологического применения, продемонстрированного на пятом занятии.

Четвертое занятие было целиком посвящено методу сканирующей зондовой микроскопии с кратким обзором возможностей смежных методов. Сначала слушатели знакомились с принципами работы атомно-силового микроскопа, которые хорошо переключаются с изучаемым в старших клас-

сах на углубленном уровне межмолекулярным взаимодействием. Слушатели также получали алгоритм объяснения обучающимся схемы детекции положения зонда в ходе сканирования. Далее в демонстрационном режиме выполнялось сканирование ранее полученных препаратов наносеребра (рис. 7), а слушатели осваивали приемы трехмерной визуализации массива полученных при сканировании данных  $\{x, y, z\}$  в программах MeasureNano и Gwyddion [8].

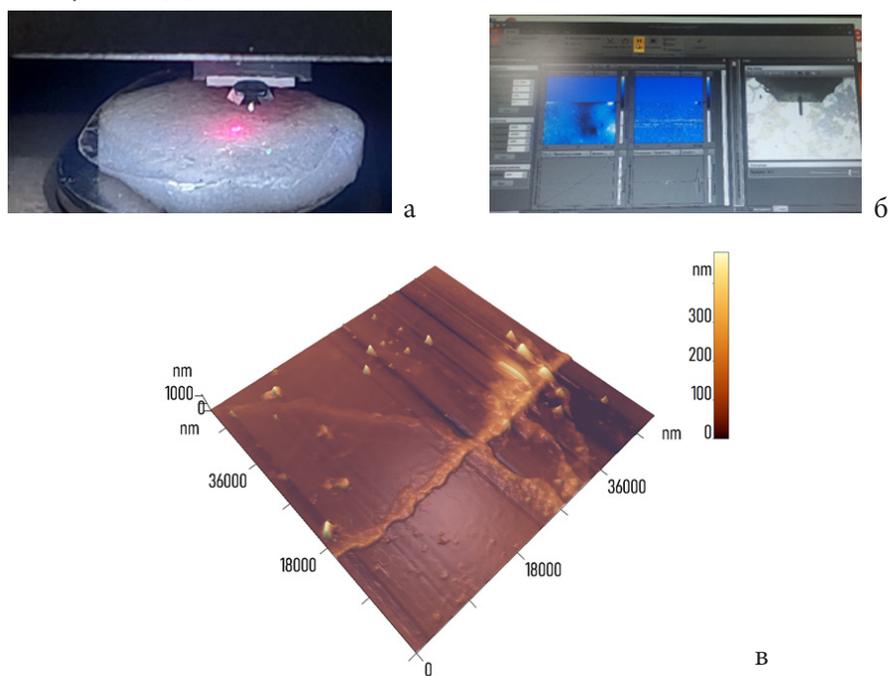


Рисунок 7. Вид кантилевера школьного атомно-силового микроскопа во время сканирования полученного слушателями наносеребра (а), вид окон программного обеспечения РНУВЕ MeasureNano для АСМ в ходе сканирования (б), самое интересное из полученных изображений — микропленка наносеребра (в)

На пятом занятии слушатели знакомились с золь-гель методом получения нанокристаллического оксида титана (IV) анатазной полиморфной модификации. В лекционной части они узнали об основной области применения наноанатаза — о фотокаталитической очистке воды, воздуха и твердых поверхностей, — а также о том, как его активность связана с кристаллической зонной энергетической структурой и дисперсностью частиц. И, соответственно, в каком диапазоне условий синтеза кристаллизуется наноанатаз и как доказать, что образовался именно он (то есть излагались основы рентгенофазового анализа).

В ходе синтеза нанокристаллического анатаза гидролизом сульфата титанила-аммония (СТА<sup>1</sup>) команды слушателей сначала сопоставили скорость перехода в золь двух образцов СТА с разной степенью кристалличности, а далее, применив датчик-турбидиметр, — скорость гелеобразования продукта  $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  при разных количествах введенного гидрата аммиака. Слушатели также делились на четыре команды. Команда № 1 не вводила аммиак вообще и потому сразу получила порошкообразный осадок; гель же, полученный остальными, переводится в порошкообразное состояние при отжиге. Также слушатели познакомились с одним из популярных приемов нанохимии — отделение и промывание продукта на центрифуге-вортексе. Позднее приготовленные ими препараты наноанатаза на слюде также были отсканированы атомно-силовым микроскопом (второе звено нанохимического исследования — «структура»; самый интересный скан приведен на рис. 8).

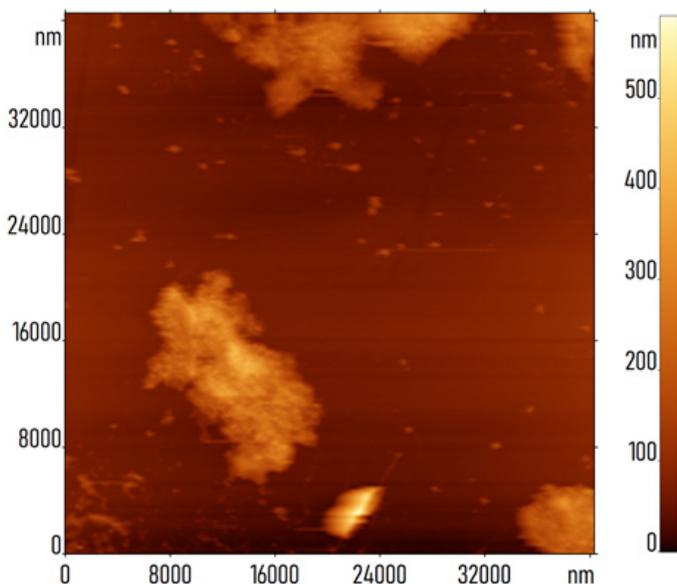


Рисунок 8. 2D-визуализация рельефа частиц анатаза на слюде

Возможно, самым запоминающимся для слушателей оказалось знакомство с механохимией. Ионы титанила представляют собой полимерные положительно заряженные цепочки  $-\text{Ti}-\text{O}-\text{Ti}-\text{O}-$ , гидроперит — это пероксокомплекс карбамида. При растирании сольвата сульфата титанила с гидроперитом эти два белых кристаллических вещества вступали в реак-

<sup>1</sup> Образец СТА предоставлен ФИЦ КНЦ РАН.

цию, подобную вулканизации каучука — цепочки титанила «сшивались» пероксо- (и, скорее всего, карбамидными) лигандами, а титан (IV), будучи жесткой кислотой Льюиса, деформировал при координации пероксо-лиганды. В результате этого смесь превращалась в ярко-оранжевый, похожий на пластилин полимер (рис. 9, а–в). При этом сульфат титанила медленно гидролизовался в сольватной воде, выделяя серную кислоту, катализировавшую разложение пероксогрупп. В свою очередь, этот процесс приводил к выделению тепла, что активизировало эндотермический процесс гидролиза. Начинался автокаталитический синтез наноанатаза, стимулируемый саморазогревом. Чтобы сделать его быстрым и управляемым, полученные полимеры отжигали при 800 °С с получением титаноксидного аэрогеля (рис. 9, г, д).

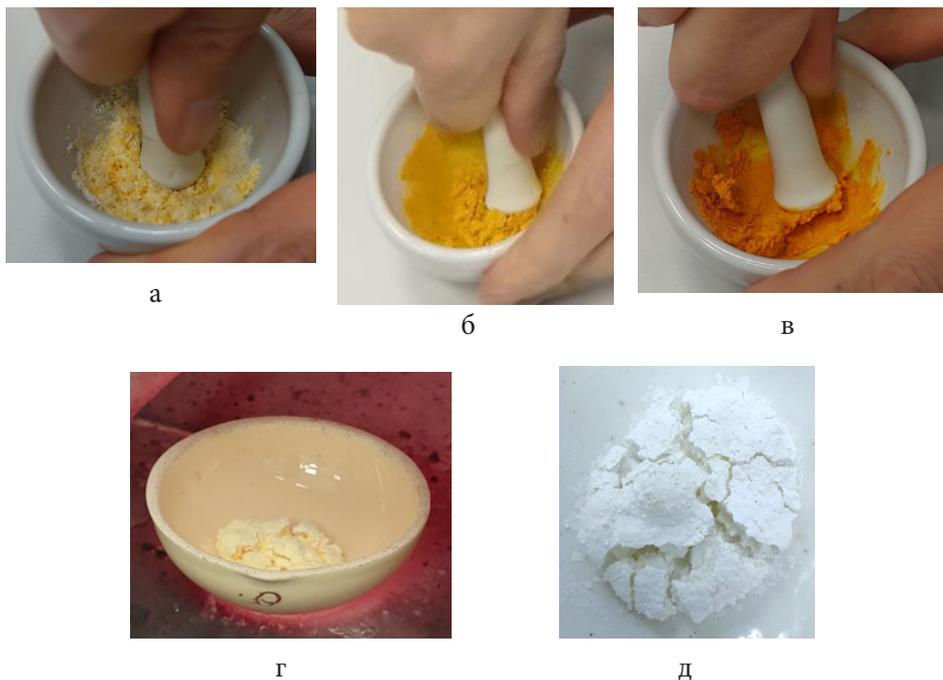
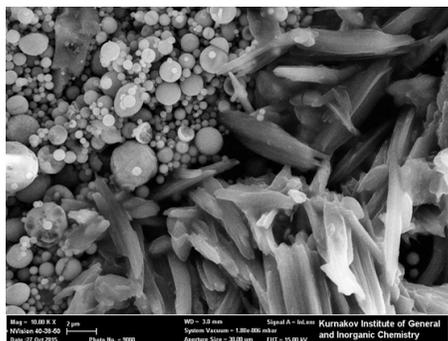


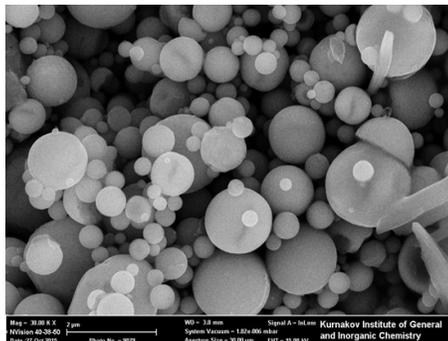
Рисунок 9. Начало растирания смеси, осторожное проявление солнечной окраски (а), последовательное увеличение интенсивности окраски и пластичности (б, в), ход отжига (г) и его наноанатазный продукт (д)

Из лекционной части слушатели узнали микроморфологию, определенную методом СЭМ (рис. 10), как оранжевого полимерного полупродукта, так и получающегося при отжиге анатаза — в этом случае истинно нано-

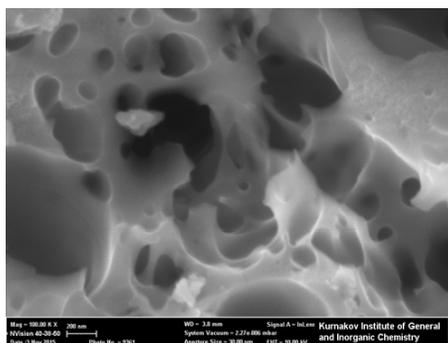
дисперсного. Именно на изображении продукта заметно его отличие от субмикронных агрегатов осаждающихся «мокрым» методом нанокристаллических «ядер», объединенных аморфной прослойкой.



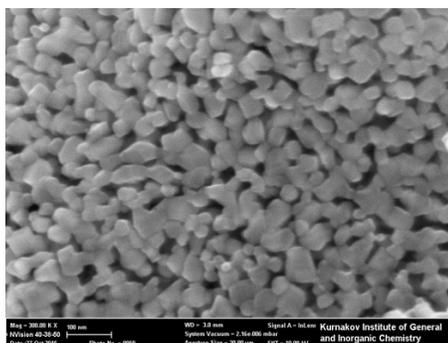
а



б



в



г

Рисунок 10. Микрофотографии (РЭМ; ИОНХ РАН) [15]: а — участок смеси в начале механоактивации (прореагировавшие сайты — сфероиды (субмикронные «воздушные шарики», наполненные выделяющимся кислородом) и непрореагировавшие (титанильные иглы); б — отдельно прореагировавшие (только сфероиды); в — промежуточный продукт отжига (515°C); г — конечный нанодисперсный продукт

На шестом занятии слушатели продолжили выполнение «прототипа проектов по наномагнетиту либо наноанатазу», начатое на третьем и пятом занятиях. В теоретической части рассмотрели принципы, позволяющие применять полученные оксидные наноматериалы для очистки водных сред:

– суть процесса Фентона, в котором катализатором перевода пероксида водорода в «активные формы кислорода» (АФК) является наномагнетит;

– возникновение фотокаталитической активности у нанокристаллических полупроводников (более подробно, чем ранее, и с объяснением сути фотосенсибилизации);

– механизм Ленгмюра — Хиншельвуда, которым описывается процесс разложения токсикантов при гетерогенном (фото) катализе;

– пример проектной работы восьмиклассников [4] на тему получения серии композитов наномагнетита с пенополиуретаном, их изучения и применения для очистки воды в процессе Фентона, удостоенной многочисленных наград на городских конкурсах проектных и исследовательских работ [5].

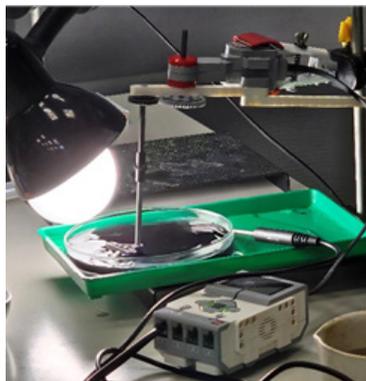
Далее слушатели на практике знакомились с приемами моделирования процессов очистки воды для оценки и сопоставления активности полученных нанокристаллических (фото) катализаторов. Две команды тестировали наномагнетит в процессе Фентона. В одном случае использовали высушенный и растертый магнетит, который самопроизвольно редуцировался в водной среде, а в другом — золь наномагнетита (рис. 11, а). В первом цикле (для обеих команд) процесс разложения модельного токсиканта кристаллического фиолетового, выбранного согласно [11], очень быстр — полное обесцвечивание происходит за 7–10 мин. Поэтому обучение слушателей приемам фотометрического изучения кинетики реакции осуществлялось на примере второго цикла фотодеструкции свежей порции субстрата в присутствии все той же порции катализатора, собранного неодимовым магнитом и промытого водой. Для слушателей, прошедших курсы по технике лабораторного эксперимента с применением оборудования предпрофессиональных классов [9], эта работа была отчасти повторением навыков фотометрии и их адаптацией к новым задачам:

– построение градуировочного графика при длине волны, наиболее близкой к максимуму поглощения этого красителя, — 590 нм в координатах  $D = f(c_{\text{краситель}})$  путем последовательных разбавлений исходного раствора кристаллического фиолетового (рис. 11, б);

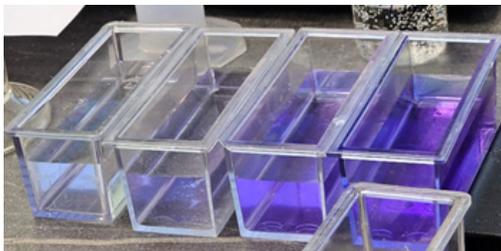
– определение оптической плотности проб раствора, отобранных в ходе второго цикла фотодеструкции через заданные промежутки времени;

– построение кинетической кривой в координатах  $c/c_0 = f(\tau)$ .

Следует отметить, что при наличии возможности такую работу лучше выполнять на спектрофотометре.



а



б

Рисунок 11. Процесс «фото-Фентон» в водяной бане с мониторингом температуры датчиком Vernier (а); серия разбавлений раствора кристаллического фиолетового (б)

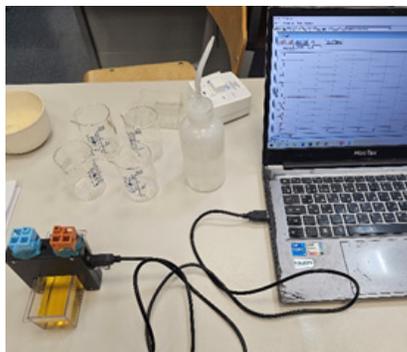
В то же время команда № 3 выполняла фотокаталитическое разложение метилового оранжевого — одного из самых популярных модельных субстратов [14; 16] — в присутствии наноразмерного титаноксидного фотокатализатора под действием УФ-облучения (рис. 12). Кроме того, была описана возможность фотосенсибилизации титаноксидных фотокатализаторов для перехода к очистке воды при облучении видимым светом, с которым, в отличие от ультрафиолетового, можно работать без защитных очков.



а



б



В

Рисунок 12. Процесс фотокаталитического разложения метилового оранжевого в присутствии наноразмерного диоксида титана (а), серия проб (б), фотометрия пробы (в)

Команда № 4 продолжала свой «прототип проекта». Поскольку на третьем занятии они гидрофобизировали наномагнетит, то на шестом применили его для сбора из воды нефти. Неполлярные углеводороды сорбировались на наночастицах, которые после были извлечены неодимовым магнитом (рис. 13).



Рисунок 13. Сбор нефти наночастицами магнетит@ОК (олеиновая кислота)

Итоговое занятие было посвящено публичной защите разработок слушателей курсов, выполненных с использованием методов, освоенных на курсах. Каждый слушатель получил опыт представления доклада на новую для него тему нанохимического эксперимента.

#### Тестирование слушателей

Академическая успеваемость слушателей курсов определялась с помощью вводного и итогового тестирования. Тестирование состояло из 14 вопросов по программе курсов, из которых 13 относилось к естественно-

научной составляющей курсов, а один вопрос посвящен регламентации выполнения проектов по ФГОС СОО. Для ответа на вопрос надо было выбрать один или несколько вариантов. Полностью образец теста содержится в программе курсов [6].

Как и в случае с базовыми курсами по химии [3], слушатели в результате освоения материалов курсов повысили средний балл с 6,2 до 8,0, лучший балл после прохождения курсов составил 11,5 из 14 возможных.

### Заключение

Темы проектов в классах химико-биологической направленности находятся с трудом. Есть два наиболее популярных направления:

- сделать посев бактерий и посмотреть, как они на что реагируют; при использовании бактерий из натуральных источников (смывы, соскобы и т. п.) это чаще всего противоречит технике безопасности работы школьников;
- отобрать некоторое количество проб воды и проверить ее качество; здесь очень трудно привести какую-либо существенную новизну.

На курсах слушатели обучаются выполнять знакомые им проекты на новом уровне — компактно по времени (маршрут проекта включает 6–8 занятий: 1 занятие (выбор тем проектов) + 3–4 (синтез) + 2–3 (характеризация) + 1 (проверка «работоспособности» проектного продукта), безопасно и с использованием современных приборов, мотивирующих школьников. Первая стратегия — синтез серии зольей наносеребра, сопоставление их спектральных свойств и морфологии частиц, проверка их антибактериальной активности на безопасной культуре и перевод в готовую лекарственную форму. Вторая стратегия — синтез серии образцов наноматериала для (фото)каталитической очистки воды, сопоставление морфологии частиц, а затем проверки эффективности для водоочистки (на этой стадии хорошо применить наработки по методам определения качества воды: сравнить с ПДК содержание в ней того или иного токсиканта до и после цикла очистки полученными образцами). Безусловно, мир нанотехнологий огромен, например, в Практикуме [11] — 55 глав. Однако для начала уже эти две стратегии позволяют создателям проектов ощутить способность изменить мир к лучшему.

### Список литературы

1. Белиовская Л. Г., Белиовский Н. А. Использование LEGO-роботов в инженерных проектах школьников. Отраслевой подход : учеб. пособие. М.: ДМК Пресс, 2016. 88 с.
2. Еремин В. В., Дроздов А. А. «Нанохимия и нанотехнология 10–11 классы». Профильное обучение, учебное пособие. М.: Дрофа, 2009. 109 с.
3. Колясников О. В., Овчинников М. А., Пушина А. В. и др. О проведении курсов по химии для учителей московских предпрофессиональных классов // Образ действия. 2024. Специальный выпуск «Математическое и естественно-научное образование». С. 111–120.

4. Куликова М. М., Закалюжная З. С., Каргин А. Р. Поролон, взлетающий к магниту // Потенциал (ХБМ). 2025. № 2.
5. Научно-практические конференции [Электронный ресурс]. URL: <https://conf.profil.mos.ru/> (дата обращения: 19.06.2025).
6. Основы нанохимического эксперимента в проектной и исследовательской деятельности учащихся. Портал Дополнительного профессионального образования педагогических работников г. Москвы dpomos.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dpomos.ru/curs/3214209/#card> (дата обращения: 19.06.2025).
7. Пошаговая методика создания робототехнических конструкций на основе LEGO MINDSTORMS. Канал ГМЦ ДОИМ на Rutube [Электронный ресурс]. URL: <https://rutube.ru/video/103bff a81c123906cd87a912764d4abd/> (дата обращения: 19.06.2025).
8. Программное обеспечение для сканирующей микроскопии Gwyddion [Электронный ресурс]. URL: <https://gwyddion.net/> (дата обращения: 19.06.2025).
9. Современное лабораторное оборудование по химии как ресурс проектной и исследовательской деятельности в рамках предпрофессионального и профильного обучения. Портал Дополнительного профессионального образования педагогических работников г. Москвы dpomos.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dpomos.ru/curs/2988243/#card> (дата обращения: 19.06.2025).
10. Фейнман Р. Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики // Рос. хим. журнал 2002. Т. XLVI, № 5. С. 4–6 [Электронный ресурс]. URL: <https://do.chem.msu.ru/sus/jvho/2002-5/4.pdf> (дата обращения: 19.06.2025).
11. Щербakov А. Б., Иванов В. К. Практикум по наноматериалам и нанотехнологиям // М.: Изд-во МГУ, 2019. 368 с.
12. Borah R., Ninakanti R., Bals S., et al. Plasmon resonance of gold and silver nanoparticle arrays in the Kretschmann (attenuated total reflectance) vs. direct incidence configuration // Scientific reports. 2022. Vol. 12, no. 1. P. 15738. doi: 10.1038/ s41598-022-20117-7.
13. Kuzmicheva G. M., Savinkina E. V., Obolenskaya L. N., et al. Synthesis of Mn-sensitized TiO<sub>2</sub> nanoparticles: influence of sequence of reagents on phase composition and photocatalytic activity // Journal of Nanoparticle Research. 2015. Vol. 17, no. 10. P. 406. doi: 10.1007/s11051-015-3211-2.
14. Perillo P. M., Rodríguez D. F. Photocatalysis of Methyl Orange using free standing TiO<sub>2</sub> nanotubes under solar light // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2021. Vol. 16. P. 100479. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100479.
15. Savinkina E. V., Obolenskaya L. N., Kuzmicheva G. M., et al. Effects of peroxy precursors and annealing temperature on properties and photocatalytic activity of nanoscale titania // Journal of Materials Research. 2018. Vol. 33, no. 10. P. 1422–1432. doi: 10.1557/jmr.2018.52.
16. Zhang W., Jiang T., Li N., et al. Enhanced Photocatalytic Degradation of Methyl Orange by Metal-TiO<sub>2</sub> Nanoparticles // ChemistrySelect. 2024. Vol. 9, no. 32. P. e202401814. doi: 10.1002/slct.202401814.