**Разогрев коллоидных растворов кремниевых наночастиц в электромагнитном поле высокой частоты**

***Рудик Е. Л., Каргина Ю.В., Тамаров К.П.***

*Студенты*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,*

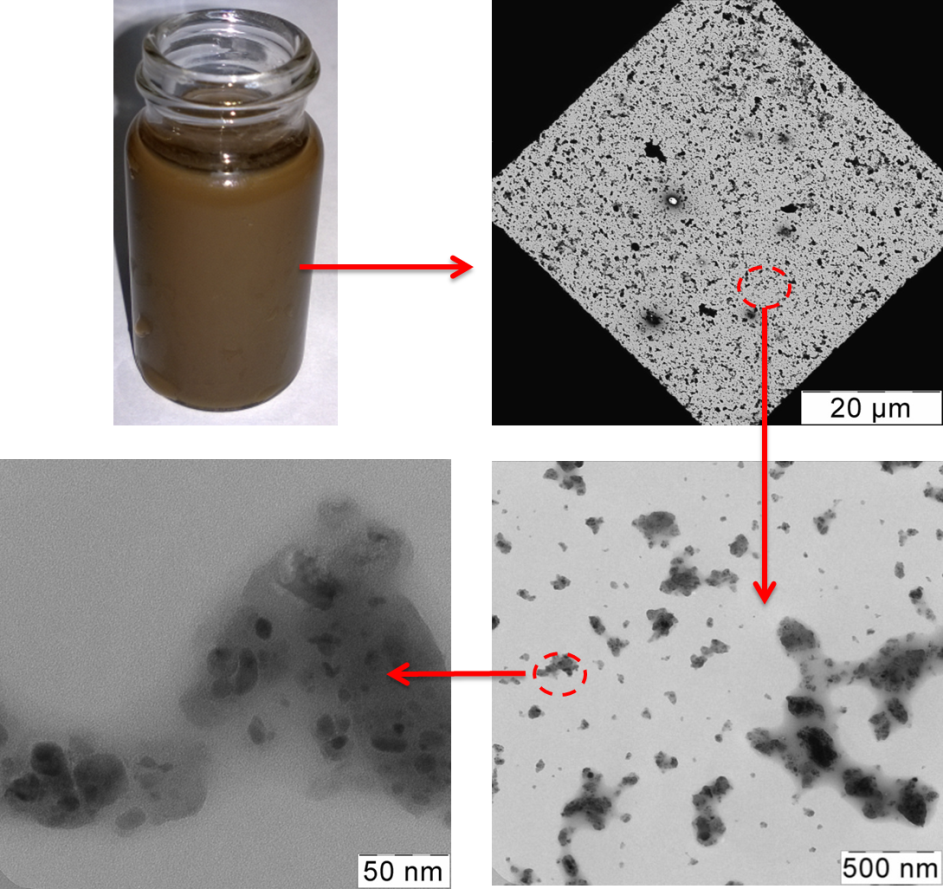
*физический факультет, Москва, Россия*

*E–mail: rudik.katherine@gmail.com, Julech-ka@mail.ru, k.tamarov@gmail.com*

В настоящее время сохраняется большой интерес к получению и использованию пористого кремния (PSi) в различных областях, включая опто- и микроэлектронику, химический синтез, биомедицинский технологии. Применение наночастиц пористого кремния (PSiNPs) при диагностике и лечении различных заболеваний открывает ряд неоспоримых преимуществ перед используемыми в настоящее время методами. Так, в работах [1,2] показаны свойства биосовместимости и биодеградируемости PSiNPs, что открывает большие перспективы для их применения в биомедицине. Известно, что наночастицы кремния при освещении могут сенсибилизировать активные формы кислорода [3], а, следовательно, применяться при фотодинамической терапии. В [4] представлены данные по уничтожению раковых клеток с помощью сочетанного действия PSiNPs и ультразвука.

В данной работе изучается взаимодействие наночастиц кремния и электромагнитного поля высокой частоты (ЭМП ВЧ).

Пленки пористого кремния формировались стандартным методом электрохимического травления пластин c-Si (100) p++ 25 мОм·смв растворе HF(50%):C2H5OH при плотности тока травления 60 мА/см2 и времени травления 60 минут. Пленка отслаивалась кратковременным увеличением плотности тока до 600 мА/см2. Водные суспензии PSiNPs получались вследствие помола пленки пористого кремния в планетарной мельнице. Для воздействия на суспензии частиц пористого кремния электромагнитным полем высоких частот использовался медицинский аппарат УВЧ-терапии с автоматической подстройкой частоты УВЧ-70-01А «Стрела». Аппарат представляет собой высокочастотный автогенератор с частотой 27,12 МГц ± 0,6%. Для непосредственно создания ЭМП используются плоские конденсаторные электроды (ЭМП с преобладающей электрической частью).



**Рис 1. (a):** Исследуемая суспензия M-PsiNPs

**(б), (в), (г)**: Изображения ПЭМ M-PsiNPs в различных приближениях

На рисунке 1 представлены фотографии просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) исследуемых образцов. Согласно полученным данным, PSiNPs представляют собой кластеры размерами от 50 нм до 200 нм, состоящие из наночастиц с размерами от 2 до 20 нм.



**Рис 2. Зависимость изменения температуры суспензии M-PSiNPs и дистиллированной воды от времени воздействия ЭМП ВЧ.**

Нами была поставлена задача исследовать воздействие электромагнитного поля высокой на водные суспензии кремниевых и золотых наночастиц.

На рисунке 2 представлен график зависимости разогрева (Т-Т0) суспензии M-PSiNPs и дистиллированной воды от времени воздействия ВЧ излучения (мощность 66 Вт). Здесь Т – температура суспензий после воздействия ЭМП ВЧ, Т0 –начальная температура суспензий. Из представленной зависимости видно, что дистиллированная вода под действием высокочастотного излучения практически не нагревается, скорость ее нагрева около 0,7 K/мин. Раствор M-PSiNPs же нагревается до 70ºС со скоростью нагрева 11 K/мин. Как известно, уже при температуре 42-45ºС происходит денатурация белка, то есть клетка погибает. Следовательно, раствор пористых кремниевых наночастиц может быть использован для уничтожения нежелательных клеток.

В работе было обнаружено значительное повышение температуры суспензии PSiNPs по сравнению с чистой водой при воздействии на них ЭМП ВЧ (27,12 МГц).

В проведенных экспериментах in-vivo показано, что при сочетанном действии PSiNPs и ЭМП ВЧ на опухолевую ткань, происходит уменьшение ее размеров по сравнению с контрольным экспериментом.

Авторы выражают благодарность своему научному руководителю – к.ф.-м.н. Осминкиной Любови Андреевне; также отдельную благодарность проф. Тимошенко Виктору Юрьевичу.

**Литература**

1. Low S.P., Voelcker N.H., Canham L.T. etc, The biocompatibility of porous silicon in tissues of the eye, Biomaterials, 2009, 30, рp. 2873–2880.Canham L.T. “Nanoscale semiconducting silicon as a nutritional food additive”// Nanotechnology, 2007, 18, 185704, pp. 1-6.

2. Park J., Gu L., von Maltzahn G., Ruoslahti E. etc, Biodegradable luminescent porous silicon nanoparticles for in vivo applications, Nature Materials, 2009, Vol. 8, pp. 331-336.

3. Тимошенко В.Ю., Кудрявцев A.A., Осминкина Л.А и др., Кремниевые нанокристаллы как фотосенсибилизаторы активного кислорода для биомедицинских применений, Письма ЖЭТФ, 2006, том 83, No 9, стр. 492-495.

4. Осминкина Л.А., Лукьянова Е.Н., Гонгальский М.Б., Кудрявцев А.А., Гайдарова А.Х., Полтавцева Р.А., Кашкаров П.К., Тимошенко В.Ю., Сухих Г.Т., Влияние нано-структурированного кремния на процессы пролиферации стволовых и раковых клеток, БЭБМ, 2011, том 151, No1, стр. 91-96.