



## Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта победителя конкурса

**Название работы – Создание антибактериальных поверхностей методом нанобионики.**

**Автор – Варварова Анна Олеговна (9 класс, MAOY гимназия № 9, г. Екатеринбург).**

**Руководитель – Васькина Екатерина Михайловна, Уральский центр коллективного пользования "Современные нанотехнологии". Работа выполнена при содействии Бессмельницкой Д.К., Власовой Е.И., Султангалеевой А.Е., Рябининой А.Ю.**

### Основная идея работы, цели, задачи

Стремительное развитие медицинских технологий способствует тому, что эндопротезирование становится всё более доступным и эффективным для всех групп населения. Однако статистика показывает, что риск развития осложнений после такой операции составляет 90%, из которых около 8% заканчиваются летальным исходом. Причиной возникновения инфекции являются патогенные бактерии, попадающие в организм человека с поверхности медицинских инструментов и имплантов.

Для стерилизации сегодня широко используют УФ облучение, химические вещества и антибиотики. Однако УФ облучение оказывает воздействие не на все виды бактерий, химические вещества токсичны, а антибиотики малоэффективны, поскольку бактерии быстро вырабатывают к ним устойчивость. Поэтому необходим принципиально новый метод стерилизации.

Обратимся к нанобионике. Нанобионика – научное направление, задача которого – создание технических наноустройств, использующих принципы работы и свойства живых систем, улучшающих их функционирование. Одной из таких живых систем является поверхность крыльев цикад. Крылья покрыты множеством наноигл, которые обеспечивают бактерицидные свойства данной поверхности (рис.1, изображения «а» и «е»). На рис.1 также представлены природные наноигльчатые поверхности различных организмов и взаимодействие бактерий с данными поверхностями.

На рис.2 представлен общий принцип взаимодействия бактерий с наноигльчатыми поверхностями. Взаимодействие происходит следующим образом: Бактерия, попадая на поверхность, насаживается на наноиглы, которые оказывают высокое давление на клетку. Бактерия, стремясь уменьшить давление, сильно растягивается, чему препятствует клеточная стенка, из-за чего мембрана бактерии рвётся, и бактерия погибает.

Искусственным аналогом такой поверхности является чёрный кремний. Чёрный кремний – кремний с особой игольчатой поверхностью, получаемой в ходе травления (рис.3). Благодаря своим бактерицидным свойствам он также может быть использован для стерилизации медицинских инструментов и имплантов, однако он имеет ряд преимуществ в сравнении с существующими методами стерилизации.

1. Он универсален, т.е. убивает все виды бактерий
2. Биосовместим, т.е. не вызывает отторжения в организме
3. Его бактерицидные свойства основаны на механическом воздействии на бактерии
4. Чёрный кремний обладает высокой бактерицидной эффективностью.

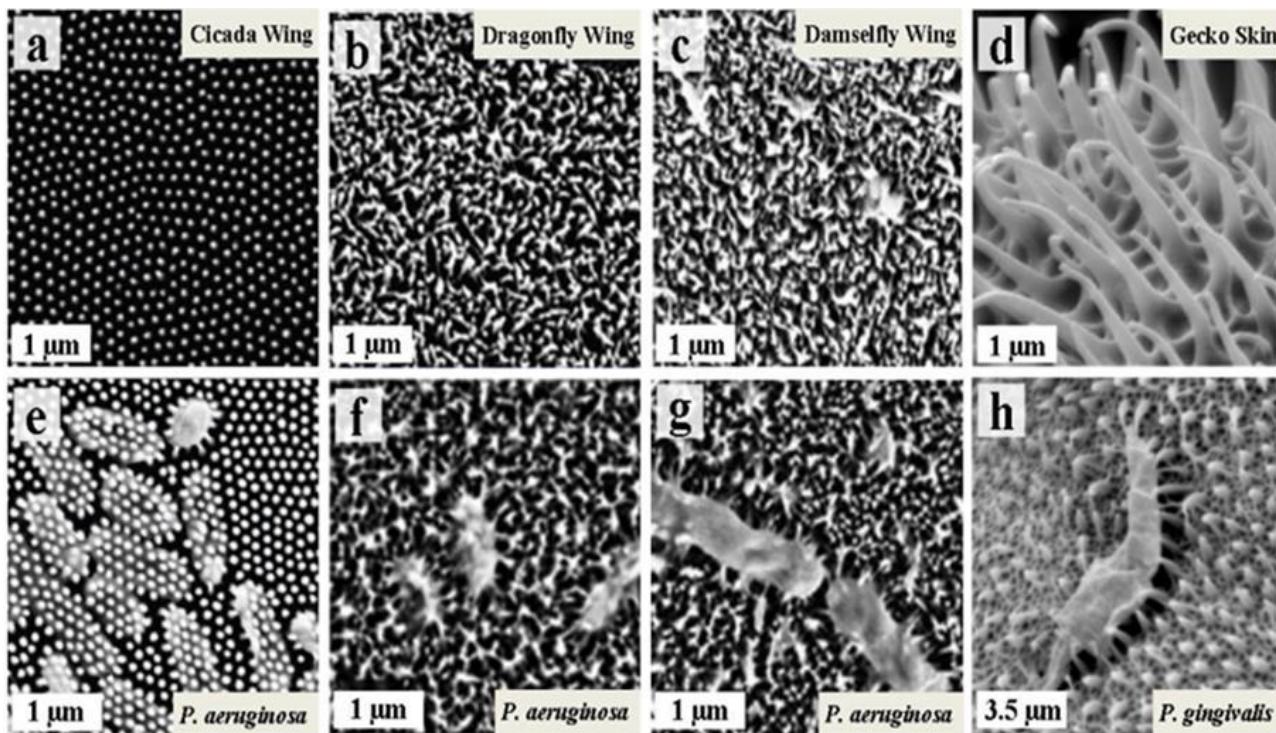


Рис. 1. Природные наноигольчатые поверхности различных организмов: а – поверхность крыльев цикад; б – крылья разнокрылой стрекозы; с – крылья равнокрылой стрекозы; d – кожа геккона; е–h – взаимодействие бактерий с данными поверхностями [1].

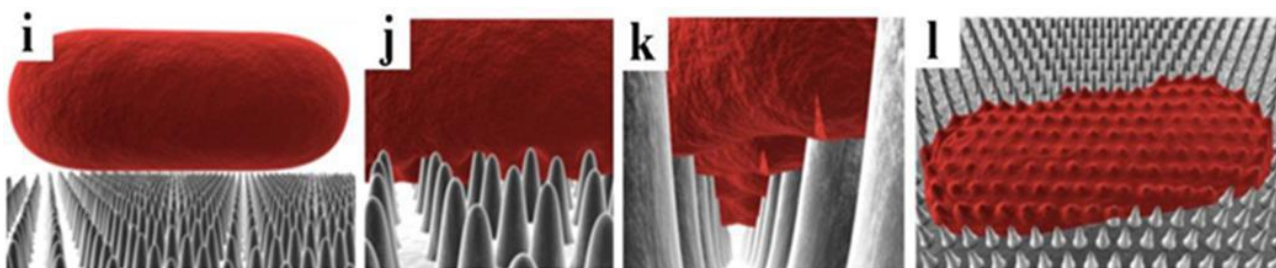


Рис. 2. Общий принцип взаимодействия бактерий с наноигольчатыми поверхностями [1].

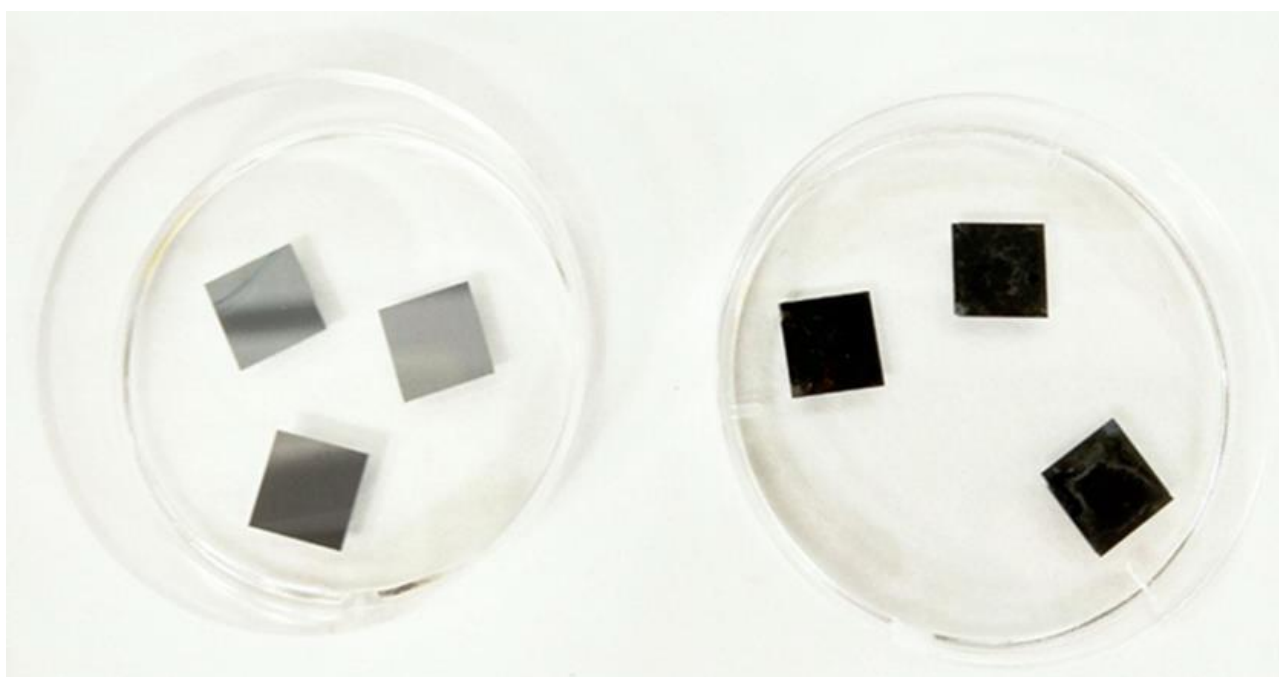


Рис. 3. Сравнение пластин монокристаллического полированного кремния и пластин чёрного кремния, полученных в ходе травления.

*Цель проекта:* разработка методики получения антибактериальных поверхностей для медицинских инструментов и имплантов.

*Задачи:*

- исследование бактерицидных свойств наноигльчатых поверхностей на примере чёрного кремния;
- получение поверхностей чёрного кремния методом селективного химического травления и реактивного ионного травления и подбор наиболее оптимального метода;
- оценка бактерицидных и фунгицидных свойств материала;
- разработка методов создания имплантов и медицинских инструментов с аналогичной поверхностью.

## Основные результаты

Мы выбрали два основных метода получения поверхности чёрного кремния: Селективное химическое травление и реактивное ионное травление.

Сначала наша команда проводила **селективное химическое травление** пластин монокристаллического кремния. Основными этапа селективного химического травления являются:

1. Осаждение наночастиц серебра из раствора нитрата серебра ( $\text{AgNO}_3$ ,  $C = 0.05$  моль) на поверхность пластины в течение 10 с.
2. Травление полученной пластины в плавиковой кислоте ( $\text{HF}$ ,  $C = 5$  моль) в течение 60 с.
3. Удаление наночастиц серебра в азотной кислоте ( $\text{HNO}_3$ )
4. Удаление органических загрязнителей в перекиси водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (в совокупности с азотной кислотой – в течение 1 часа)

На рис.4 представлена морфология полученной в ходе травления поверхности. На первом изображении пластина с высаженными наночастицами серебра. На втором изображении видна структура, получаемая на поверхности кремния в ходе травления. Здесь четко видны наноиглы, благодаря которым Чёрный кремний и проявляет свои бактерицидные свойства. На рис.5 представлен боковой срез пластины. Здесь также видны наноиглы. Нами также была сделана оценка параметров наноигл и наночастиц серебра. Данные параметры представлены на рис.4.

В ходе исследования была произведена оценка бактерицидной эффективности полученных пластин. Для этого мы выращивали культуру бактерий сенной палочки, высаживали их на пластины чёрного кремния и на контрольные пластины (пластины из стали), культивировали в термостате в течение суток, затем делали смыв и помещали в термостат на сутки. После подсчёта колоний бактерий и сравнения с колониями на поверхности стальной пластины, нами была установлена бактерицидная эффективность чёрного кремния, которая составила 90%.

Далее мы производили **реактивное ионное травление**. В реактивном ионном травлении мы использовали 3 вида пластин:

- 1 – пластинки кремния с осажденными наночастицами серебра;
- 2 – пластинки чистого кремния;
- 3 – пластинка кремния со слоем диоксида кремния толщиной 300 нм.

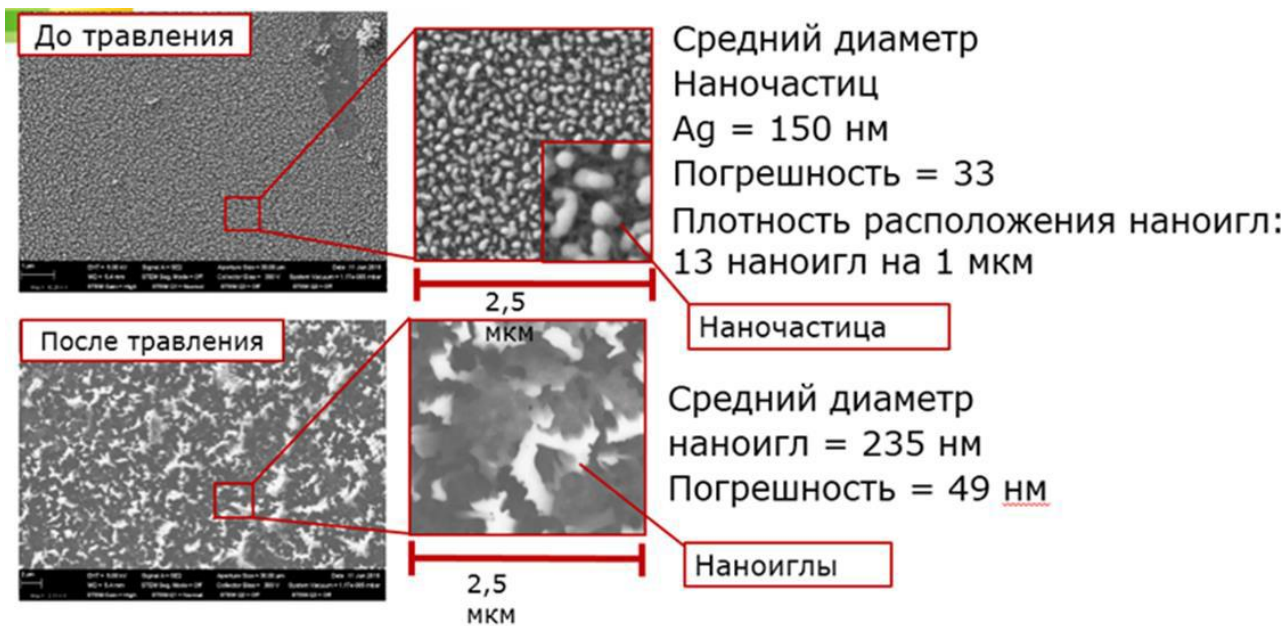


Рис. 4. Морфология поверхности кремния с наночастицами серебра (до травления) и морфология протравленной поверхности (после травления). Указаны параметры наночастиц и наноиگل. Снимок выполнен методом СЭМ.

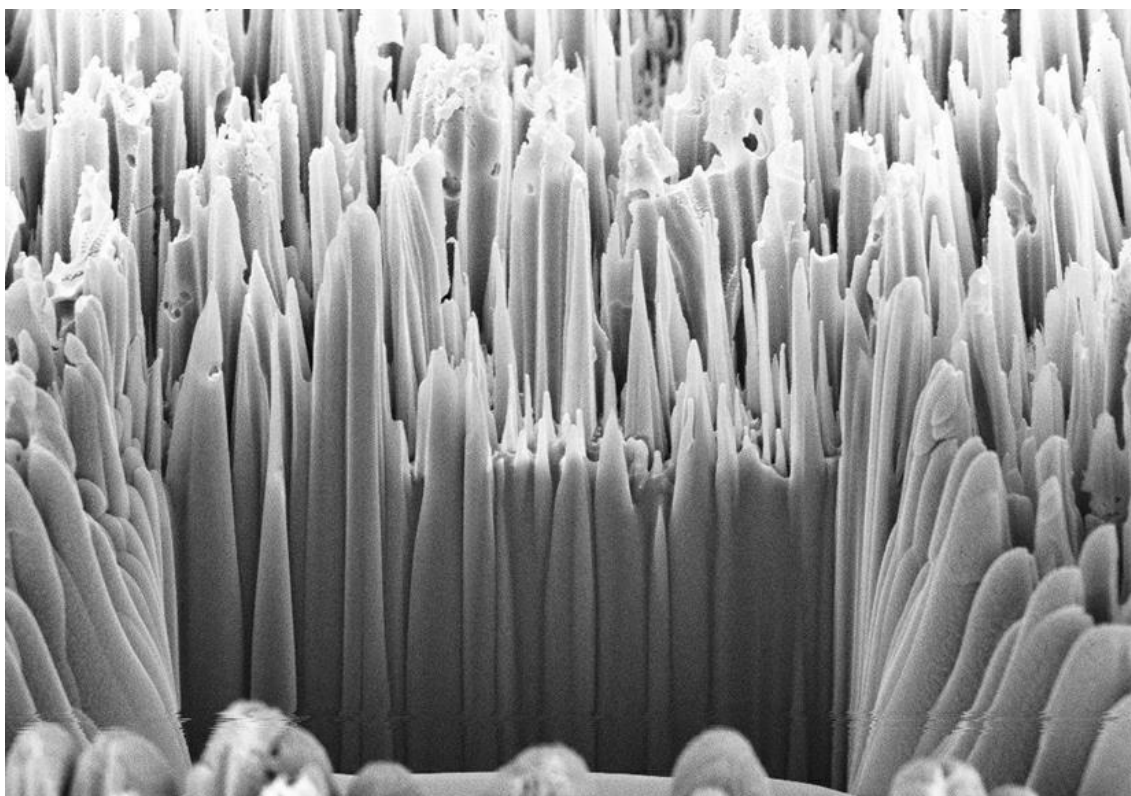
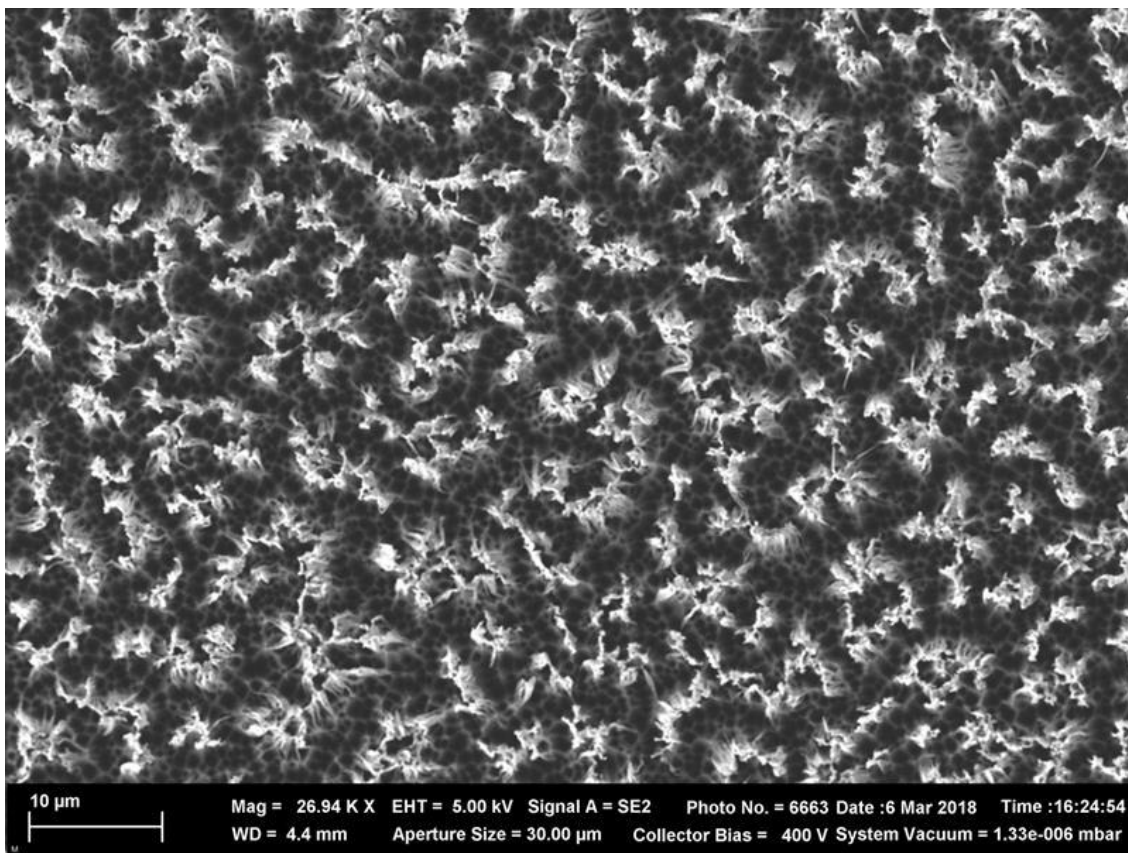


Рис. 5. Боковой срез пластины Чёрного кремния. Снимок выполнен методом СЭМ. На изображении чётко видны наноиглы.

Все пластинки имели одинаковую проводимость. Травление пластин производилось в течение 35 мин. На некоторых пластинках произошли изменения: на кремнии с наночастицами серебра образовались наноиглы в местах, где при высадке наночастиц пластина держалась пинцетом; пластинка со слоем диоксида посерела, т.е. диоксид кремния удалился в ходе травления. Пластинки обычного кремния остались без изменений. Такие результаты говорят о том, что, возможно, травление кремния зависит также от его проводимости и от толщины слоя диоксида.

На рис.6 представлена морфология поверхности в том месте, где мы держали пластину пинцетом. Структура менее чёткая, чем при химическом травлении, однако здесь есть наноиглы, следовательно, данная методика также может быть использована, но она нуждается в доработке и дальнейших исследованиях.



*Рис. 6. Игольчатая наноструктура поверхности чёрного кремния, полученного методом реактивного ионного травления. Снимок выполнен методом СЭМ.*

**Чёрный титан.** Для создания имплантов с антибактериальной поверхностью не может быть использован чёрный кремний, поскольку он достаточно хрупкий, и при внедрении импланта в организм наноиглы могут разрушиться. В качестве материала для создания имплантов мы предлагаем использовать чёрный титан, поскольку титан прочен, биосовместим, лёгок и является основным материалом для создания имплантов. Мы предлагаем получать чёрный титан методом реактивного ионного травления в плазме хлора ( $Cl_2$ ). Данная методика нами также пока не разработана, поскольку научных работ по этой теме не так много, а эксперименты требуют специального оборудования и материалов. Однако мы планируем продолжать исследования, особенно в данном направлении, так как оно является очень перспективным. Разные свойства кремния и титана позволяют применять их в разных сферах:

Кремний:

- покрытие медицинских инструментов, различных антибактериальных медицинских поверхностей;
- светопринимающий элемент в протезе сетчатки глаза;
- штамп для литографии;
- антибактериальные фильтры.

Чёрный титан:

- эндопротезирование.

## **Выводы, заключение, перспективы**

Таким образом, исследования в области наноигольчатых поверхностей, их создание, применение для покрытия медицинских инструментов и создание имплантатов, очень перспективны, однако требуется дальнейшая доработка методик, проведение большого количества экспериментов в рамках сотрудничества с исследователями ИЕНиМ УрФУ.

Исследования на чёрном кремнии показали, что искусственные наноигольчатые поверхности обладают высокой бактерицидной эффективностью, что позволяет применять их для создания медицинских инструментов и имплантов.

Удалось провести многократное успешное селективное химическое травление и доказать бактерицидную эффективность поверхностей, полученных таким методом. Реактивное ионное травление не принесло таких успехов. Однако и при таком методе имеются протравившиеся части пластин, следовательно, данную методику не стоит отклонять как возможную, но она нуждается в доработке.

Разработка методов создания имплантов и медицинских инструментов с аналогичной поверхностью пока ведётся, однако проведённых экспериментов недостаточно для определения способов нанесения чёрного кремния и чёрного титана на произвольные поверхности. Работа в этом и других направлениях нашей деятельности будет продолжаться.

### *Дальнейшая работа*

Я вместе со своей проектной командой планирую продолжать исследования в этой области, поскольку наноигольчатые поверхности многофункциональны, а данное направление исследований сравнительно молодое.

В дальнейшем мы планируем:

- продолжить травление в плазме для получения чёрного кремния, подобрать наиболее оптимальные параметры для данной методики
- сравнить методы, которыми осуществлялось травление, и выбрать наиболее оптимальный для дальнейшего применения на практике
- произвести бактериологический анализ различных образцов чёрного кремния в жидкой среде
- провести исследования на титане. Выбрать подходящие параметры для его травления, произвести бактериологический анализ чёрного титана.

### **Список цитированных источников**

1. A. Elbourne, R.J. Crawford, J. Colloid and Intr. sc., V. 508, p. 603-616 (2017).
2. E. Ivanova, J. Hasan, J. Natural commucation, V.4, p. 2838.
1. E. Ivanova, J. Hasan, J. Natural commucation, V. 8(16), p. 2489 (2012).
3. Vy T.H. Plam, V.K Trong., J. ACS ApEplied materials and Interface, V. 8(34), 22025 (2016).
4. J.O. Lee, V. Narasimhan, J. Adranced Healthcare Materials, V. 6(4), p. 1601356 (2017).
5. ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России.