

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНТИМИКРОБНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОПЛЕНКИ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ КОМПОЗИТОВ С БИОЦИДНЫМ КОМПОНЕНТОМ

**В.И. Румянцева, Ю.И. Андреева, А.С. Дроздов, В.В. Виноградов, Е.И. Кошель**  
**Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Университет**  
**Информационных Технологий, Механики и Оптики**  
**г. Санкт-Петербург**

**Научный руководитель – Е.И. Кошель**  
**Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Университет**  
**Информационных Технологий, Механики и Оптики**  
**г. Санкт-Петербург**

Проблема эффективного терапевтического лечения хронического и острого воспаления, вызванного развитием и жизнедеятельностью микробных биопленок, до сих пор актуальна из-за устойчивости бактерий к наиболее часто применяемым в медицинской практике антибиотикам. В последние годы наиболее перспективными стали использование нанокompозитных материалов, которые могут легко проникать во внутреннюю среду биопленки. В частности, магнитные частицы в составе антибактериальных средств могут повысить его эффективность. Таким образом, целью данной работы была разработка нового композиционного материала с магнитоуправляемыми свойствами и высокой антимикробной активностью.

В качестве основного каркасного материала выбран аморфный карбонат кальция, инкапсулированный ципрофлоксацином. Композитная матрица также состоит из наночастиц магнетита, придающих ей магнитные свойства. Таргетирование препарата происходит благодаря его нацеливанию в очаг воспаления под воздействием магнитного поля; целевое высвобождение активного вещества из нанокompозита осуществляется посредством магнитоиндуктивной рекристаллизации карбоната кальция под действием высокочастотного магнитного поля.

Экспериментальные исследования, проведенные на биопленках двух типов бактерий (грамположительных *Staphylococcus aureus* и грамотрицательных *Escherichia coli*), доказали наличие хорошо выраженного эффекта композита, основанного на синергетическом антибактериальном воздействии карбоната кальция и магнетита. Антибиотик в его начальной форме проявлял меньшее влияние на бактерии по сравнению с препаратом с иммобилизованным антибиотиком: разница составляла 24-38 % против *E. coli* и 50-76 % против *S. aureus*. Антибактериальный эффект также проявлялся в случае нанокompозитных частиц без антибиотика, что позволяет судить о возможности обеспечения синергетического эффекта. Так, количество биопленки *E. coli* после обработки нанокompозитом снизилось на 46 %, а в образцах с *S. aureus* – на 77 %, из чего следует, что антибактериальная активность частиц преимущественно против грамположительных бактерий может быть показанием к их использованию против *S. aureus*.

Таким образом, повышение эффективности антибиотических веществ на бактериальных биопленках может быть достигнуто:

1. благодаря магнитному нацеливанию нанокompозита и его максимальной локализации в очаге воспаления - это дает разработанной системе большое преимущество в отличие от системного приема антибиотика, при котором количество антибиотика значительно выше;

2. благодаря магнитному притяжению к биопленке и облегчению проникновения антибиотика в биопленку из-за ее частичной дезинтеграции - при магнитонаведении

происходит внедрение частиц в толщу биопленки и нарушение ее целостности, что является основным барьером для воздействия антибактериальных препаратов;

3. из-за синергетического эффекта в виде локальной подщелачивания биопленки - карбонатная основа частиц обуславливает локальное повышение рН, что дополнительно ингибирует рост микроорганизмов.

Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию метода получения эффективного магнитоуправляемого препарата и всестороннее изучение его влияния на биопленки видов бактерий, наиболее важных в медицинской практике, а также на оценку его биосовместимости.