

## ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СИЛОКСАНОВОГО КАУЧУКА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Фазылова Д.И.\*, Вафина А.Р.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

\*[dina-fazylova@yandex.ru](mailto:dina-fazylova@yandex.ru)

*Разработаны полимерные композиционные материалы (ПМК) на основе низкомолекулярного силоксанового каучука, которые предполагается использовать в качестве остеопластических материалов в челюстно-лицевой хирургии. Исследования направлены на выявление каталитической системы и определение оптимального соотношения структурирующего агента для силоксанового каучука. Также ведутся работы по определению токсикологических характеристик разрабатываемых полимерных композиций и их биосовместимости.*

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, остеопластический материал, низкомолекулярные силоксановые каучуки.

## POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS BASED ON SILOXANE RUBBER FOR MEDICAL PURPOSE

Fazylova D.I., Vafina A.R.

*Kazan National Research Technological University*

*Polymer composite materials (PMC) based on low molecular weight siloxane rubber have been developed, which are supposed to be used as osteoplastic materials in maxillofacial surgery. Research is aimed at identifying the catalytic system and determining the optimal ratio of the structuring agent for silicone rubber. Work is also underway to determine the toxicological characteristics of the developed polymer compositions and their biocompatibility.*

**Keywords:** polymer composite material, osteoplastic material, low molecular weight siloxane rubbers.

### **Введение**

Развитие имплантатов в стоматологии потребовало разработки остеопластических материалов для сохранения и увеличения костной ткани для дальнейшего размещения имплантата оптимального объема.

В настоящее время существуют композиции для заполнения костных полостей, используемых в хирургии, которые производятся за рубежом. В большинстве своем это материалы на основе фосфатов кальция, которые не являются синтетическими материалами [1].

Доступные материалы не полностью соответствуют требованиям. Ведется поиск новых композиционных материалов, содержащих остеостимулирующие и остеоиндуктивные факторы, для ускорения репаративного остеогенеза и улучшения качества регенерации кости. Поэтому разработка и изготовление новых отечественных материалов для использования в практической стоматологии и хирургии полости рта является важной проблемой.

Материал, который может использоваться для заполнения костных полостей, должен обладать рядом свойств, в частности, полностью исправлять костный дефект, для чего ему необходимо быть пластичным, иметь малую антигенную активность, противостоять инфекции.

Остеопластическим материалам должны быть также присущи:

– остеогенность – способность инициировать рост костной ткани за счет особых жизнеспособных остеогенных клеток (аутокость);

– остеоиндукция – способность стимулировать рост ткани в результате действия материала на дифференцировку мезенхимальных стволовых клеток (протеины крови, ростовые факторы и другие биоактивные компоненты);

– остеокондукция – способность остеопластического материала играть роль пассивного каркаса (матрикса) для наращивания новой ткани с последующей резорбцией имплантированного графта.

Помимо этих ключевых свойств, следует принимать во внимание пористость (обеспечивающую прорастание новой костной ткани), биологическую и иммунологическую совместимость с организмом реципиента, инфекционную безопасность (стерильность), экономическую и физическую доступность.

В этой связи актуальной является разработка композиций на основе отечественного силикоанового каучука. Полимерные композиционные материалы на основе полисилоксанов находят широкое применение в медицине. Они обладают рядом преимуществ: механической прочностью; отсутствием усадки; возможностью сохранения формы в течение длительного времени; физиологической инертностью, т. е. не взаимодействуют с клетками и реагентами в теле человека; выдерживают высокие температуры, что обеспечивает простоту стерилизации; устойчивостью к окислению, в том числе под действием УФ-излучения; устойчивостью к старению.

Исследования данной научной работы направлены на выявление каталитической системы и определение оптимального соотношения структурирующего агента для силикоанового каучука, а также на установление подходящего кремнийсодержащего наполнителя и его оптимального содержания, так как остеопластические материалы должны быть гомогенными композициями с высокой вязкостью и обладать хорошим комплексом физико-механических свойств. Также ведутся работы по определению токсикологических характеристик разрабатываемых полимерных композиций и их биосовместимости.

### **Эксперимент**

В качестве объектов исследования были выбраны: низкомолекулярный термостойкий силикоановый каучук марки СКТН-Г; неодаканоат висмута марки САТ20-А; 2-этилгексаноат висмута марки САТ-22; аэросил.

Получение полимерных композиций медицинского назначения на основе низкомолекулярного силикоанового каучука проводилось путем смешения всех ингредиентов при нормальных условиях в фарфоровой ступке с помощью пестика [2].

Методы испытаний отлитых композиций:

1. Определение рабочего времени и наблюдаемой консистенции проводили согласно требованиям ГОСТ 31573-2012.

2. Определение плотности проводилось согласно ГОСТ 267-73.

3. Определение твердости по Шору А осуществляли согласно ГОСТ 263-75

4. Определение токсикологических характеристик, разработанных силикоановых композиций проводилось ИК-спектрометрически с помощью прибора ThermoScientificNicolet iS10. Для исследования использовали дистиллированную воду, полученную после экстракции в ней силикоановых композиций при температуре 37 °С в течение 7 суток и постоянном перемешивании. Определение показателя преломления осуществлялось согласно ГОСТ 19927-74.

### **Результаты и их обсуждение**

Целью исследования была разработка остеонейтральных силикоановых материалов, используемых в стоматологической хирургии.

Остеонейтральные имплантаты – аллопластические материалы (абсолютно инертные имплантаты), которые используются только для заполнения пространства. Характеризуются как биологически совместимые чужеродные тела в тканях, которые не являются опорой для новой кости [1].

В качестве полимерной матрицы для создания новых остеопластических материалов был выбран низкомолекулярный силикоановый каучук марки СКТН-Г. Жидкие каучуки СКТН являются основой холодновулканизирующихся (при комнатной температуре) композиций. Выбор оптимальной молеку-

лярной массы полидиметилсилоксана имеет существенное значение для создания материала с заданной жизнеспособностью, пластичностью и эластичностью вулканизата. С увеличением молекулярной массы вулканизация ускоряется. Также выбор СКТН-Г для остеопластической композиции обусловлен тем фактом, что композиции на основе низкомолекулярных каучуков могут иметь большую степень наполнения.

В качестве отвердителя холодноотверждаемой системы использовались металлоорганические катализаторы на основе висмута. Согласно современным источникам, 2-этилгексаноат висмута, а также неодаканоат висмута являются эффективными сшивающими агентами для силоксановых каучуков.

Катализаторы на основе висмута являются перспективным решением в химии кремнийорганических полимеров медицинского назначения, т. к. они обладают хорошими токсикологическими свойствами.

Соединения висмута катализируют сшивание полидиметилсилоксанов конденсационного типа с такими же скоростями и результирующими свойствами, что и соединения олова. Эксперименты показали, что катализатор на основе олова в силиконовых антиадгезионных покрытиях может быть заменен висмутовым катализатором с такой же или более низкой атомной концентрацией. Система вулканизации на основе металлоорганических катализаторов позволяет получить компаунды, обладающие аутогезией [3] (рис. 1).

Исследовано влияние содержания катализаторов на основе висмута в композиции на время отверждения полимерных материалов. Результаты исследований показали, что висмутовые катализаторы существенно снижают время отверждения композиции, при этом их действие мало зависит от температуры. Выявлено, что оптимальное содержание катализатора в композиции составляет 4 мас. ч. на 100 мас. ч. силоксанового каучука.

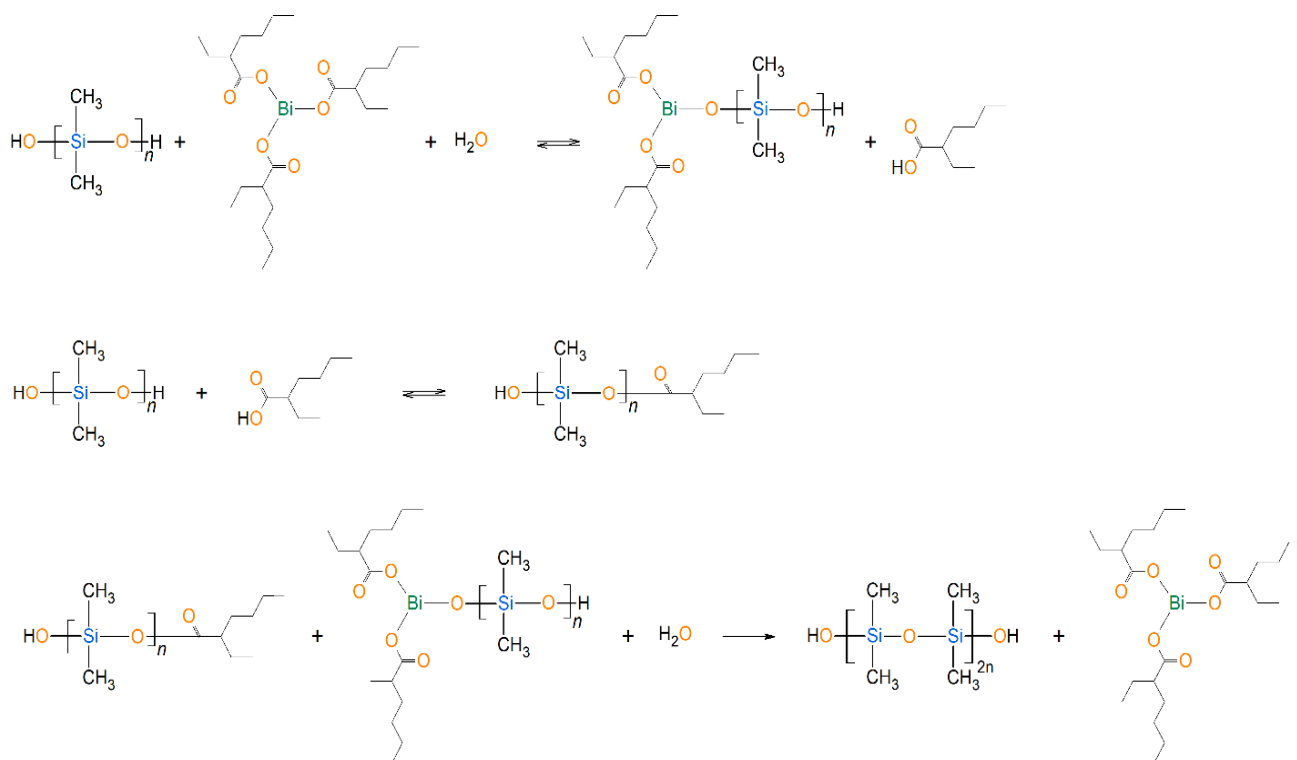


Рис. 1. Реакция взаимодействия СКТН и 2-этилгексаноатом висмута

Остеопластические композиционные материалы не обладают высокой прочностью. В восстановительной медицине материал фактически не нагружается. Результаты исследований твердости и плотности ПКМ представлены в табл. 1.

Плотность и твердость силиконовых композиций с содержанием сшивающего агента 4 мас.ч.

Образец	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по Шору А, усл. ед.
ПКМ с САТ-20А	1,566	64
ПКМ с САТ-22	1,327	57

Согласно термомеханическому анализу силиконовые композиции с использованием металлоорганических катализаторов проявляют высокую термостабильность до 275 °С.

С целью определения химико-токсикологических характеристик, разрабатываемых остеонейтральных материалов, исследована дистиллированная вода, полученная до и после процесса экстракции в ней образцов полимерных материалов. После выдержки образцов при температуре 37 °С в течение 7 суток были исследованы показатель рН среды, показатель преломления экстрагируемой воды и снят ИК-спектр. Все образцы проявили нейтральные значения кислотности, рН среды и показатель преломления после выдержки образцов соответствует значениям исходной дистиллированной воды. ИК-спектры также показали отсутствие примесных веществ в воде.

Представленные данные свидетельствуют о безопасности разрабатываемых материалов с биологической точки зрения.

Будущее синтетических биоматериалов видится в комбинировании разных веществ. В практической медицине множество примеров, когда композиционные материалы удачно совмещают положительные свойства своих компонентов. Клинический опыт подтверждает, что при использовании композиционных остеопластических материалов удастся достичь лучших результатов, чем при использовании отдельных их компонентов.

Сегодня в роли органической базы биорезорбтивных полимеров применяется коллаген, полигликолид и полилактид. Коллаген являет собой межклеточный протеин. Он отличается высокой биосовместимостью, способностью к биодеградации и активации взаимодействия между клетками костной ткани [1].

В связи с этим на следующем этапе исследований планируется создание полимерных остеопластических композиций с использованием коллагена.

### Выводы

Разработаны силиконовые композиционные материалы, которые предполагается использовать в качестве остеопластических материалов в челюстно-лицевой хирургии. Исследованы новые каталитические системы на основе висмута, определено оптимальное соотношение структурирующего агента для силиконового каучука. Определены основные характеристики полимерных композиционных материалов на основе силиконового каучука медицинского назначения.

*Работа выполнена в рамках реализации программы проекта ПИИШ «ПромХимТех».*

### Библиография

1. Обзор костно-пластических материалов для челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bioimplantat.ru> (дата обращения 23.05.23).
2. Фазылова Д.И., Вафина А.Р. Полимерные композиции медицинского назначения // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2022. Т. 12, № 3. С. 96–98.
3. Вафина А.Р., Фазылова Д.И., Дулмаев С.Э., Зенитова Л.А. Исследование влияния катализатора на свойства силиконовых композиций медицинского назначения // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25, № 8. С. 111–115.