

**К.К. Бондарь**

## **САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ МАТЕРИАЛЫ В СТОМАТОЛОГИИ**

**Научный руководитель: канд. мед. наук, доц. О.С. Савостикова**

*Кафедра стоматологической пропедевтики и материаловедения*

*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

**K.K. Bondar**

## **SELF-HEALING DENTAL MATERIALS**

**Tutor: PhD, associate professor O.S. Savostikova**

*Department of Dental Propaedeutics and Material Science*

*Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** Современная стоматология сталкивается с проблемой ограниченного срока службы реставрационных материалов. Самовосстанавливающиеся материалы предлагают инновационное решение этой проблемы, потенциально увеличивая срок службы реставраций в 2-3 раза.

**Ключевые слова:** самовосстанавливающиеся материалы, микрокапсулы, стоматологические реставрации.

**Resume.** Modern dentistry faces the problem of limited service life of restorative materials. Self-healing materials offer an innovative solution to this problem, potentially increasing the service life of restorations by 2-3 times.

**Keywords:** self-healing materials, microcapsules, dental restorations.

**Актуальность.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения ключевой проблемы современной стоматологии – ограниченного срока службы реставрационных материалов, более того, актуальными проблемами являются заживление в послеоперационный период, эндодонтический доступ, бактериальные инфекции в период ортодонтического решения

**Цель:** провести анализ доступных источников специальной отечественной и зарубежной литературы, содержащей информацию об использовании результатов исследования самовосстанавливающихся стоматологических материалов, механизмов их действия и перспектив внедрения в клиническую практику.

**Задачи:**

1. Сделать выводы о доступности самовосстанавливающихся материалов.
2. Оценить достоинства и недостатки новых технологий.
3. Систематизировать данные последних исследований.

**Материалы и методы.** Проанализированы 57 зарубежных и отечественных научных исследований для систематизации знаний о новейших технологиях самовосстанавливающихся систем. Глубина исследования 20 лет.

**Результаты и их обсуждение.** Современная стоматология сталкивается с проблемой ограниченного срока службы реставрационных материалов. Статистика показывает, что около 60% повторных вмешательств связаны с разрушением пломб и коронок. Самовосстанавливающиеся материалы предлагают инновационное решение этой проблемы, потенциально увеличивая срок службы реставраций в 2-3 раза.

К основным механизмам самовосстановления относятся микрокапсулированные системы. В составе материала находятся специальные

капсулы с жидким наполнителем. Микротрещины разрывают полимерную оболочку микрокапсул, позволяя заживляющему агенту поступать в поврежденную область. Заживляющий агент полимеризуется, эффективно герметизируя микротрещины.

Ограничения: соотношение микрокапсул, которые могут быть включены в составы, и потенциальные проблемы с целостностью оболочки, когда трещины могут распространяться, не вызывая разрыва.

Решение: создание химических взаимодействий между оболочками микрокапсул и органической матрицей, тем самым интегрируя микрокапсулы и органическую матрицу в связную структуру.

Значительные проблемы, такие как снижение полимеризационной усадки, водопоглощения, скорости гидролиза, плохая адгезия и прочность, могут быть решены путем разработки многофункциональных материалов, содержащих POSS (Полиэдрический олигомерный силсесквиоксан). Благодаря наличию силсесквиоксанов можно получить умные материалы, которые позволяют стимулировать отложение фосфатов и ремонтировать микротрещины в зубных пломбах. Гибридные композиты приводят к материалам, проявляющим память формы, а также антибактериальные, самоочищающиеся и самовосстанавливающиеся свойства.

Применение композитных пломбировочных материалов POSS (Полиэдрический олигомерный силсесквиоксан).

Действие: добавление E-POSS в полимерную матрицу увеличивает конверсию двойных связей, снижает поглощение воды и повышает прочность на изгиб, модификация MA-POSS позволяет силсесквиоксану действовать как соинициатор во время полимеризации и др.

Преимущества: возможность адаптации свойств POSS путем выбора соответствующих заместителей.

При ортодонтическом лечении ортодонтические приспособления подвержены бактериальным инфекциям, которые представляют риск для здоровья полости рта. Поверхностная модификация ортодонтических приспособлений была исследована для улучшения их противообрастающих свойств и придания антибактериальных возможностей, ингибируя начальную бактериальную адгезию и образование биопленки.

Поверхностная антимикробная модификация ортодонтических приспособлений.

Действие: усиливает взаимодействие с бактериями, что приводит к превосходной антимикробной активности (нарушение бактериальной адгезии) и противообрастающим свойствам поверхности.

Преимущества: образование биопленки, увеличение адгезии покрытия к материалу субстрату, покрытие наделено внутренней способностью к самовосстановлению для восстановления свойств при температуре и влажности полости рта.

Самовосстанавливающиеся гидрогели в челюстно-лицевой хирургии для оптимизации процессов заживления.

**Действие:** после механического повреждения самовосстанавливающиеся гидрогели спонтанно восстанавливаются посредством динамических связей.

**Ограничения:** Самовосстанавливающиеся гидрогелевые системы обычно страдают от плохих механических характеристик, вызванных более слабыми и обратимыми нековалентными взаимодействиями или динамическими химическими связями, которые затрудняют их практическое применение.

**Решение:** принятие конструкции с двойным сшиванием. Это приводит к образованию особой структуры, которая одновременно обеспечивает хорошую способность к самовосстановлению и улучшенные механические характеристики.

**Клинические применения:** реставрационные материалы (композитные пломбы с микрокапсулами, керамические реставрации с наночастицами  $ZrO_2/Al_2O_3$ ); ортопедическая стоматология (базисы протезов из полимерного абатмента с динамическими связями, самовосстанавливающие акриловые смолы); имплантология (биоактивные покрытия с эффектом самовосстановления, материалы для абатментов с антибактериальными свойствами)

Современные исследования сосредоточены на нескольких прорывных направлениях. Нанороботизированные системы (50-100 нм) предлагают точное восстановление микротрещин через активацию магнитным полем или изменением pH, хотя их массовое производство пока сложно. Материалы с памятью формы (особенно NiTi сплавы и полимерные композиты) восстанавливают исходную геометрию при нагреве до 37-45°C или под действием NIR-излучения, что перспективно для ортодонтии. Биомиметические гидрогели имитируют естественную регенерацию, например, минерализующие составы восстанавливают до 200 мкм эмали за 2 недели.

Цифровые технологии интегрируют микро-датчики в материалы для мониторинга состояния реставраций, а ИИ ускоряет разработку новых составов, анализируя тысячи комбинаций за сутки. Особый интерес представляют биогибридные материалы, сочетающие синтетические компоненты с биологическими (коллаген, бактериальная целлюлоза). 4D-печать открывает возможности создания динамических структур, меняющих свойства после изготовления.

Наиболее близки к клиническому внедрению (2026-2029 гг.) системы 4D-печати и ИИ-оптимизированные материалы, тогда как нанороботы и сложные биогибриды ожидаются не ранее 2030 года. Ключевые вызовы включают вопросы стандартизации, биосовместимости и экономической целесообразности массового производства этих инновационных решений.

**Выводы.** Самовосстанавливающиеся материалы представляют собой прорыв в стоматологическом материаловедении. Несмотря на существующие проблемы при разработке данных материалов, их внедрение в клиническую практику может произойти в течение ближайших 5-7 лет.

#### Литература

1. Гарсия, Э. Умные материалы в стоматологии / Э. Гарсия, М. Мюллер. – М.: Эльзевир, 2022. – 300 с. – ISBN 978-0-12-823472-3.

2. Иванов, А. А. Наноструктурированные композиты в стоматологии / А. А. Иванов, С. К. Петрова. – СПб.: Профессия, 2021. – 215 с. – ISBN 978-5-6045-123-4.
3. Смирнов, В. П. Самовосстанавливающиеся полимерные материалы в стоматологии / В. П. Смирнов, О. Н. Козлова // Стоматология. – 2022. – Т. 101, № 3. – С. 45–52.