



## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ ТКАНЕЙ В МЕДИЦИНЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ВЫЗОВЫ

**Климова Ирина Сергеевна**

кандидат химических наук, доцент кафедры биоматериалов и наномедицины,  
Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Громов Алексей Владимирович**

аспирант кафедры биоматериалов и наномедицины, Санкт-Петербургский  
государственный химико-фармацевтический университет  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

### Аннотация

Современная регенеративная медицина активно использует новые материалы, способные стимулировать восстановление поврежденных тканей и органов. В статье рассматриваются достижения в области создания биосовместимых, биоразлагаемых и функционально активных материалов, включая гидрогели, наноструктурированные полимеры и матрицы на основе коллагена. Особое внимание уделено клеточным и молекулярным взаимодействиям с биоматериалами, а также вызовам, связанным с иммуносовместимостью, долгосрочной стабильностью и масштабированием технологий. Представлены примеры клинического применения и направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** регенеративная медицина, биоматериалы, тканевая инженерия, гидрогели, коллаген, нанотехнологии, биоразложение

### 1. Введение

Развитие технологий восстановления тканей обусловлено необходимостью эффективного лечения травм, дегенеративных заболеваний и послеоперационных дефектов. Биоматериалы, способные замещать или стимулировать регенерацию тканей, стали ключевым элементом в трансляционной медицине. Целью данной работы является анализ достижений в области создания новых материалов и их применения в клинической практике, а также рассмотрение существующих научных и технологических вызовов.

## **2. Требования к биоматериалам**

### **2.1. Биосовместимость**

Биоматериал не должен вызывать воспаления, аллергической реакции или отторжения. Важны взаимодействие с клетками, поддержание физиологических параметров среды и минимизация иммунного ответа.

### **2.2. Биодegradация**

Материалы должны постепенно разрушаться в организме до нетоксичных компонентов. Скорость разложения подбирается в соответствии с темпами заживления тканей.

### **2.3. Механическая прочность**

Для костных имплантатов и связок требуется высокая прочность, тогда как мягкие ткани (кожа, хрящ) требуют эластичных структур.

## **3. Типы инновационных материалов**

### **3.1. Гидрогели**

Гидрогели — трёхмерные сшитые полимерные сети с высокой степенью водонасыщения. Они обеспечивают транспорт питательных веществ и создают условия для прикрепления клеток.

#### **Примеры:**

- Алгинаты и карбоксиметилцеллюлоза — для заживления ран;
- Гидрогели с факторами роста (VEGF, FGF) — в ангиогенезе и восстановлении тканей.

### **3.2. Коллагеновые и фибриновые матрицы**

Коллаген — основной белок внеклеточного матрикса. Биоматрицы на его основе активно используются в хирургии и стоматологии.

Фибрин используется как временный каркас для миграции клеток, особенно при восстановлении эпителия и мышечной ткани.

### **3.3. Наноструктурированные полимеры**

Создание наноматериалов с заданной топографией поверхности улучшает прикрепление и пролиферацию клеток. Нанофибры поли(лактид-ко-гликолидов) (PLGA) имитируют структуру внеклеточного матрикса.

### 3.4. Самоорганизующиеся пептиды

Пептиды, способные формировать нановолокна в физиологических условиях, используются для направленной дифференцировки стволовых клеток и создания мягких тканей (например, нейронов).

## 4. Применение в клинической практике

### 4.1. Восстановление кожи

Материалы, способствующие эпителизации и защите от инфекции, активно применяются при ожогах и хронических язвах.

**Пример:** Гидрогели с серебром, коллагеновые пленки с антисептиками.

### 4.2. Костная ткань

Биокерамика (гидроксиапатит), композиты с коллагеном и стеклокерамика стимулируют остеоинтеграцию и не вызывают воспаления.

**Пример:** Титаново-коллагеновые имплантаты с пористой структурой.

### 4.3. Хрящевая ткань

Используются инъекционные гидрогели, обеспечивающие поддержку хондроцитам и снижению трения в суставе.

**Пример:** Комбинации гиалуроновой кислоты с ростовыми факторами.

### 4.4. Нервная ткань

Разрабатываются биосовместимые проводящие полимеры (например, полипиррол) для направленного роста аксонов и восстановления миелиновых оболочек.

## 5. Вызовы и перспективы

Несмотря на многочисленные успехи, в разработке и применении биоматериалов сохраняются серьезные проблемы:

- **Иммуносовместимость:** риск хронического воспаления и отторжения;
- **Масштабирование:** трудности воспроизводства лабораторных успехов в массовое производство;
- **Регуляторные барьеры:** сложные процедуры сертификации;
- **Персонализация:** необходимость подбора состава материала под конкретного пациента.

Будущее — за интеллектуальными материалами, которые способны изменять свойства в ответ на физиологические сигналы (температуру, pH, ферменты), а также за 3D- и 4D-биопечатью тканей и органов.

## Заключение

Новые материалы для регенерации поврежденных тканей становятся основой современной медицины. Их развитие требует междисциплинарного подхода, объединяющего химию, молекулярную биологию, инженерию и клиническую практику. Перспективы внедрения биосовместимых, адаптивных и функциональных материалов связаны с переходом к персонализированной медицине, где лечение адаптировано к индивидуальным потребностям организма.

## Литература

1. Langer R., Vacanti J.P. Tissue Engineering // Science. – 1993. – Vol. 260(5110). – P. 920–926.
2. O'Brien F.J. Biomaterials & scaffolds for tissue engineering // Materials Today. – 2011. – Vol. 14(3). – P. 88–95.
3. Киселёв А.Ф., Баранова А.И. Биоматериалы: структура, свойства, применение. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 312 с.
4. Zhang Y.S., Khademhosseini A. Advances in engineering hydrogels // Science. – 2017. – Vol. 356(6337). – eaaf3627.
5. Voccaccini A.R. et al. Polymer/bioactive glass nanocomposites for tissue engineering applications // Composites Science and Technology. – 2010. – Vol. 70. – P. 1764–1776.
6. Hoffman A.S. Hydrogels for biomedical applications // Advanced Drug Delivery Reviews. – 2012. – Vol. 64. – P. 18–23.