



СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАУК О ЖИЗНИ



МИЭТ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Размытие границ между живыми и техническими системами с помощью нейроинтерфейсов

Герасименко Александр Юрьевич

доктор технических наук

Заведующий лабораторией биомедицинских нанотехнологий
Института бионических технологий и инжиниринга Сеченовского университета

Заместитель директора по научной работе

Института биомедицинских систем Национального исследовательского университета МИЭТ



Институт бионических технологий и
инжиниринга



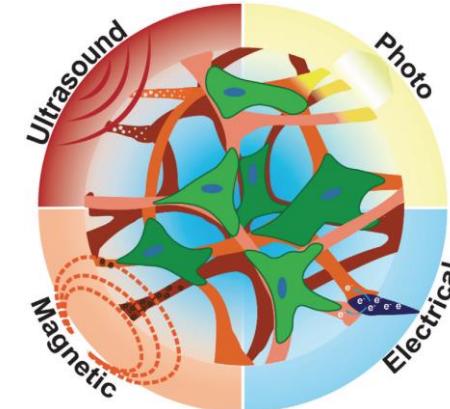
Лаборатория биомедицинских
нанотехнологий



БМС
ИНСТИТУТ
БИОМЕДИЦИНСКИХ
СИСТЕМ

Эффект от воздействий

- Электрические сигналы играют уникальную роль в модуляции разнообразного клеточного поведения и функций биотканей, таких как стимуляция подвижности клеток, пролиферации и дифференциации, а также заживления ран, облегчения боли и регенерации тканей.
- Однако, для обеспечения необходимого эффекта при воздействии на биоткани необходимо использовать специализированные **биосовместимые конструкции (интерфейсы)** из соответствующих материалов и с соответствующими механическими, оптическими, электрофизическими и др. свойствами, например, электропроводностью, тем самым создавая электрическую микросреду для передачи биофизических сигналов клеткам и тканям.
- Электрическая микросреда имеет решающее значение для различных биологических процессов, включая клеточный метаболизм, транспорт ионов для поддержания гомеостаза и восстановления тканей.
- Электрические поля направляют миграцию клеток для обеспечения восстановительных процессов.
- Эндогенное электрическое поле служит основным направляющим сигналом для миграции клеток во время заживления ран в различных биотканях организма.
- Обнаружено, что электрические сигналы стимулируют ангиогенез, способствуя образованию новых кровеносных сосудов и улучшая подачу питательных веществ к месту заживления тканей.



- При этом, активно развиваются **биосовместимые конструкции (интерфейсы)**, которые обеспечивают преобразование в своей структуре оптических, магнитных, акустических, химических сигналов в электрические сигналы, которые воздействуют на биологическую ткань.

1. Han-Sem Kim et. al., *Med-X* (Springer Nature), 2 (7), 2024.

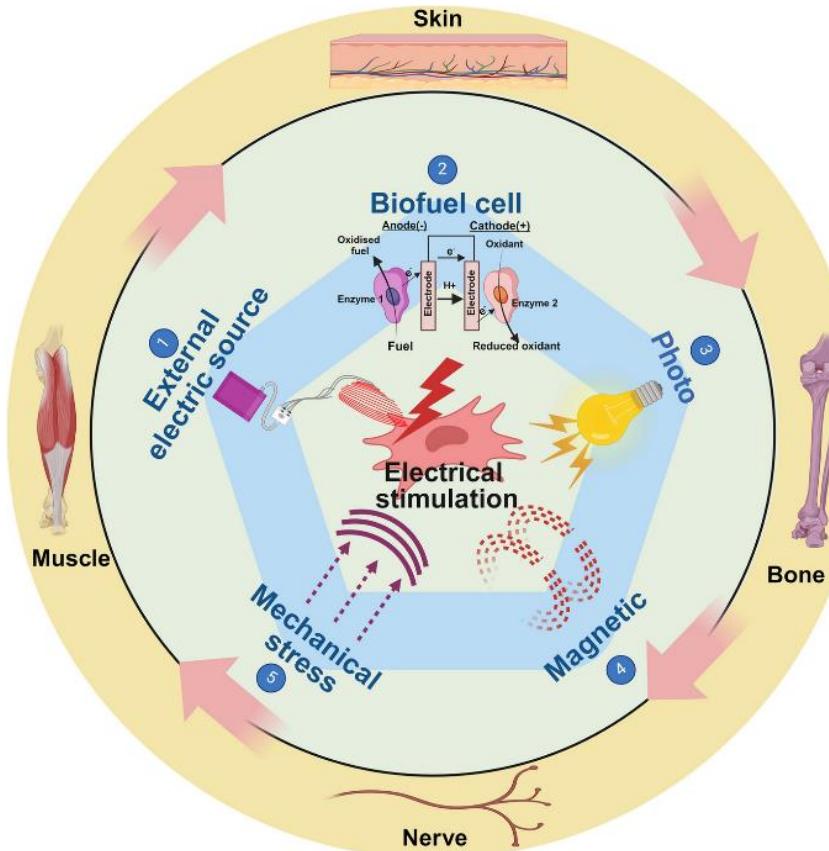
2. Amy Gelmi, Carolyn E Schutt, *Advanced Healthcare Materials*, 10 (1), 2021.

Материалы интерфейсов, обеспечивающие воздействие на биоткани

Материалы (биотопливные элементы), способные самостоятельно генерировать электричество в ответ на внутренние и внешние условия организма. Используют органическое топливо, присутствующее в биологических жидкостях, используя ферменты (глюкозооксидаза и др.) в качестве анионов, и ферменты (билирубиноксидаза и др.) в качестве катионов, для генерации электричества посредством их взаимодействия.

Полимерные композиты с наночастицами, тонкопленочные структуры на основе Si и массивов нанопроволок металла (титан, с нанесенными наночастицами Au).

Приложение к пьезоэлектрическому материалу внешнего механического воздействия позволяет изменять структуру кристаллической решетки, приводя к смещению положительных и отрицательных зарядов, т.е. к возникновению электрического потенциала в материале (ZnO , $BaTiO_3$, полимеры (поливинилиденфторид (PVDF), полимолочная кислота (PLLA))



Фоточувствительные материалы, полупроводниковые наноматериалы испытывают изменения подвижности или концентрации носителей заряда при световом воздействии.

Материалы с магнитными наночастицами, подвергаясь воздействию внешнего магнитного поля, имеют тенденцию выстраиваться вдоль поля, что изменяет пространственное распределение зарядов и приводит к созданию электрического поля внутри материала.

1. Han-Sem Kim et. al., *Med-X* (Springer Nature), 2 (7), 2024.
2. Amy Gelmi, Carolyn E Schutt, *Advanced Healthcare Materials*, 10 (1), 2021.

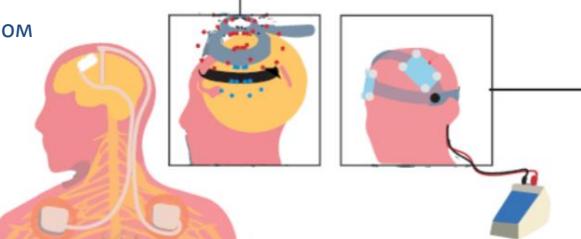
Воздействия на нервную ткань организма (ткани центральной нервной системы и периферические нервные ткани)

Глубокая стимуляция мозга

- 1) Рефрактерный комплексный регионарный болевой синдром
- 2) Рефрактерная нейропатическая боль

Транскраниальная магнитная стимуляция

- 1) Нейропатическая боль
- 2) Хронические головные боли
- 3) Фибромиалгия

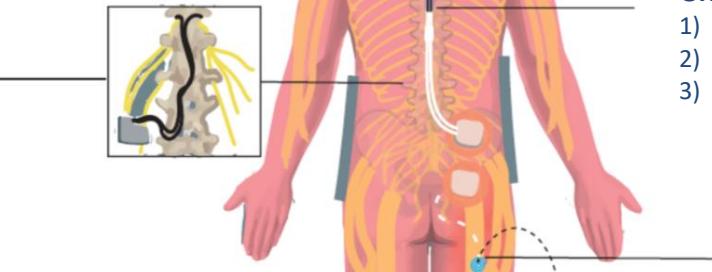


Стимуляция моторной коры

- 1) Рефрактерный комплексный регионарный болевой синдром
- 2) Рефрактерная нейропатическая боль

Стимуляция дорсального корешкового узла

- 1) Фокальный комплексный регионарный болевой синдром (частые случаи - после операции)



Стимуляция спинного мозга

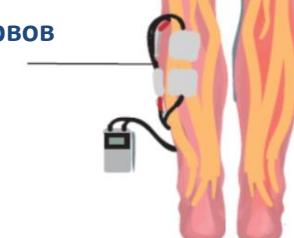
- 1) Синдром неудачной операции на спине
- 2) Комплексный регионарный болевой синдром
- 3) Периферические невропатии

Стимуляция периферических нервов

- 1) Постинсультная невропатическая боль
- 2) Мононевропатии туловища или конечностей

Чрескожная электрическая стимуляция нервов

- 1) Нейропатическая боль



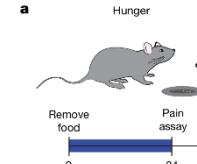
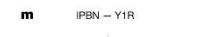
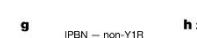
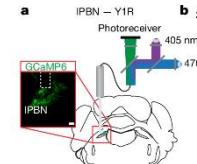
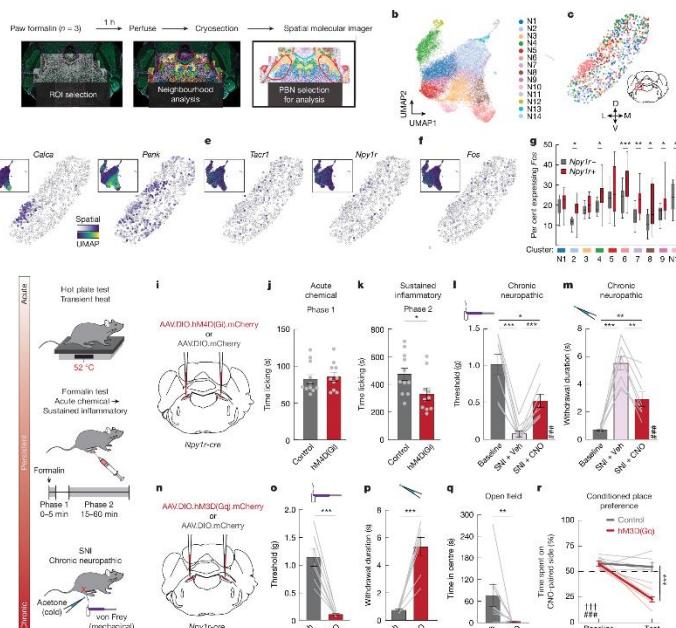
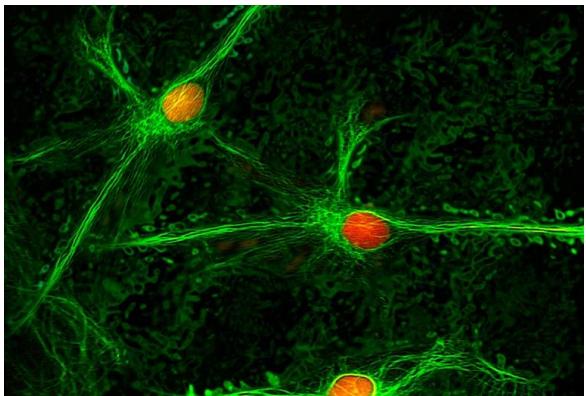
Результаты свежих исследований о поиске центра боли

nature

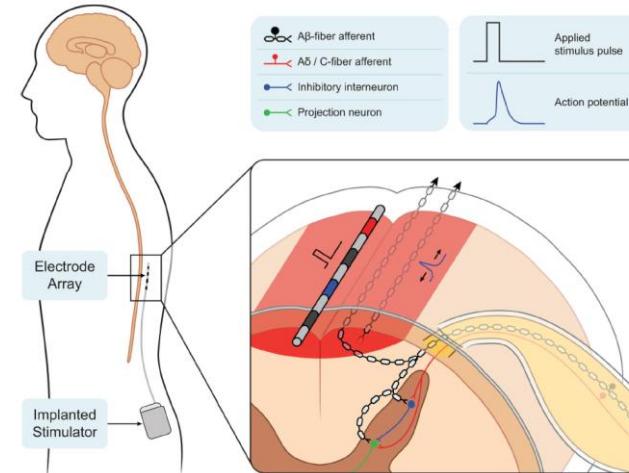
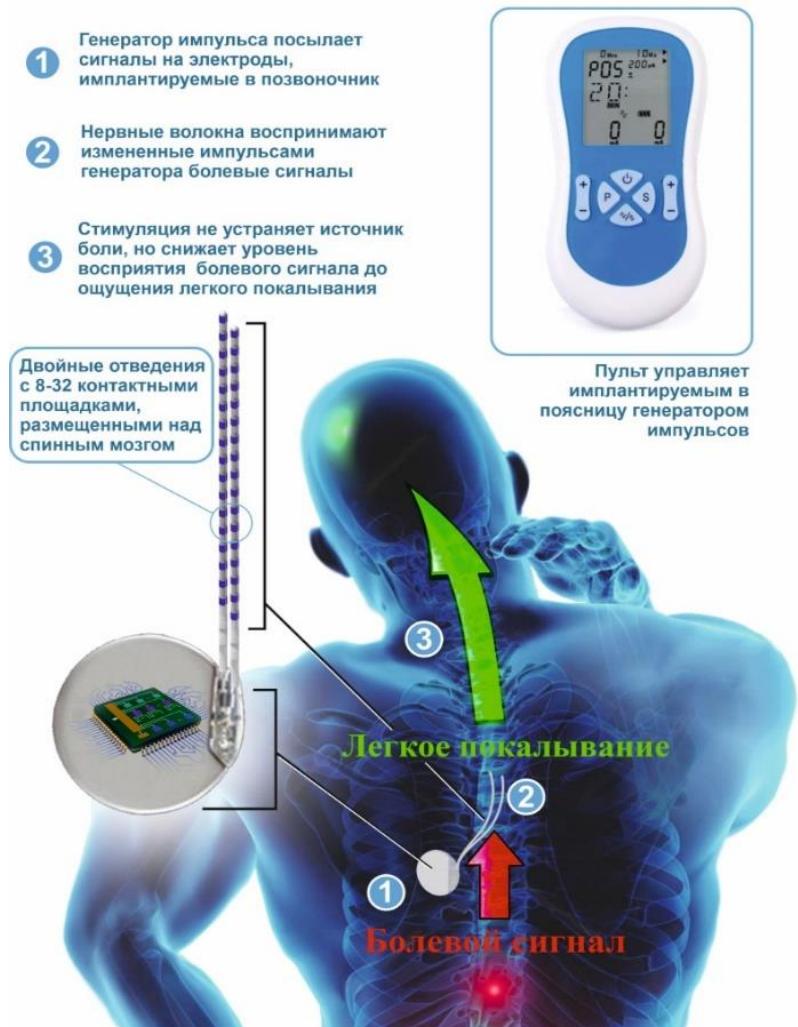
Article | [Open access](#) | Published: 08 October 2025

A parabrachial hub for need-state control of enduring pain

- Ранее обнаружено, что в спинном мозге и некоторых ядрах головного мозга находятся популяции нейронов, которые быстро реагируют на раздражители или повреждения тканей.
- В работе установлено наличие специфического "контрольного центра" для управления болью, расположенного в латеральном парабрахиальном ядре. Продемонстрировано, что активность в ансамбле парабрахиальных нейронов, экспрессирующих рецептор Y1 нейропептида, повышается при боли. Такие потребности как голод, жажда или страх подавляют боль за счёт ингибирования парабрахиальных нейронов Y1R посредством высвобождения NPY.



Управление болью с помощью имплантируемых в спинной мозг систем нейростимуляции



- Воротная теория боли Р. Мелзака и П. Уолла [1] зарождалась с 1953 года в течении 14 лет в исследовательской лаборатории электроники MIT, где ранее усилиями Норберта Винера родилась кибернетика [2].
- Концепция обратной связи имеет исключительное важное значение для перспектив развития систем управления болью. При этом необходимо формировать мульти尺度ную иерархию обратных связей [2, 3].
- Концепция обратной связи важна и для общей теории технологий, микроэлектроники [4].

1. Melzack R., Wall P.D., *Science*, 150 (3699), 1965.

2. Devor M., *Pain*, 166 (1), 2025.

3. Wang J., Chen Z.S., *Cell Reports Medicine*, 5 (10), 2024.

4. Красников Г.Я., Горнев Е.С., Матюшкин И.В., М.: Техносфера, 2020.

5. Селищев С.В., *Медицинская техника*, 6, 2024.

Виды имплантируемых электродных систем нейроинтерфейсов

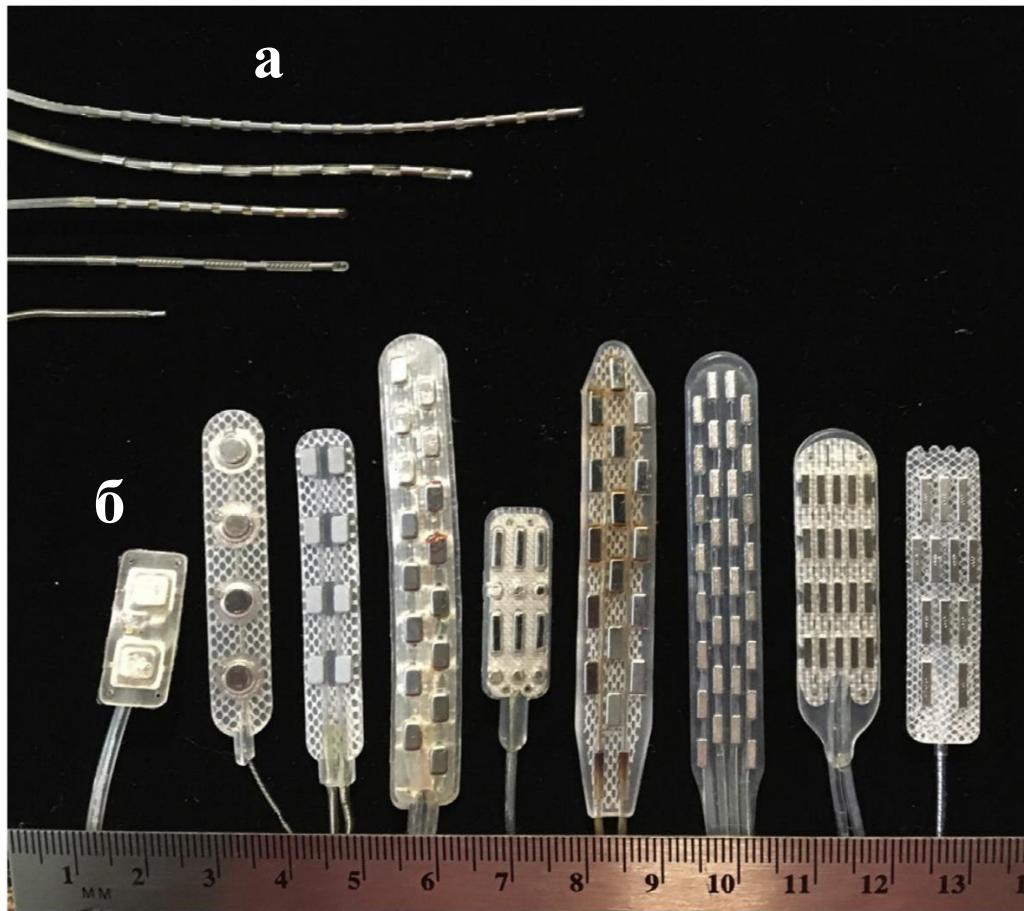


Рисунок 1 – Внешний вид многоконтактных имплантируемых игольчатых (а) и пластинчатых электродов (б) [1]

- Цилиндрические (игольчатые) электроды вводятся через иглу в эпидуральное пространство
- Пластинчатые электроды или весельной формы электродов (с помощью ламинэктомии) [1]

Контакт электрода с нервной тканью

- Компоненты, обеспечивающие связь между электронными устройствами и биологическими системами (клетками, тканями или органами).
- Важно обеспечение взаимодействий электронных устройств и организма, в контексте диагностики и лечения **нервной системы** или **стимуляции клеточных процессов**.

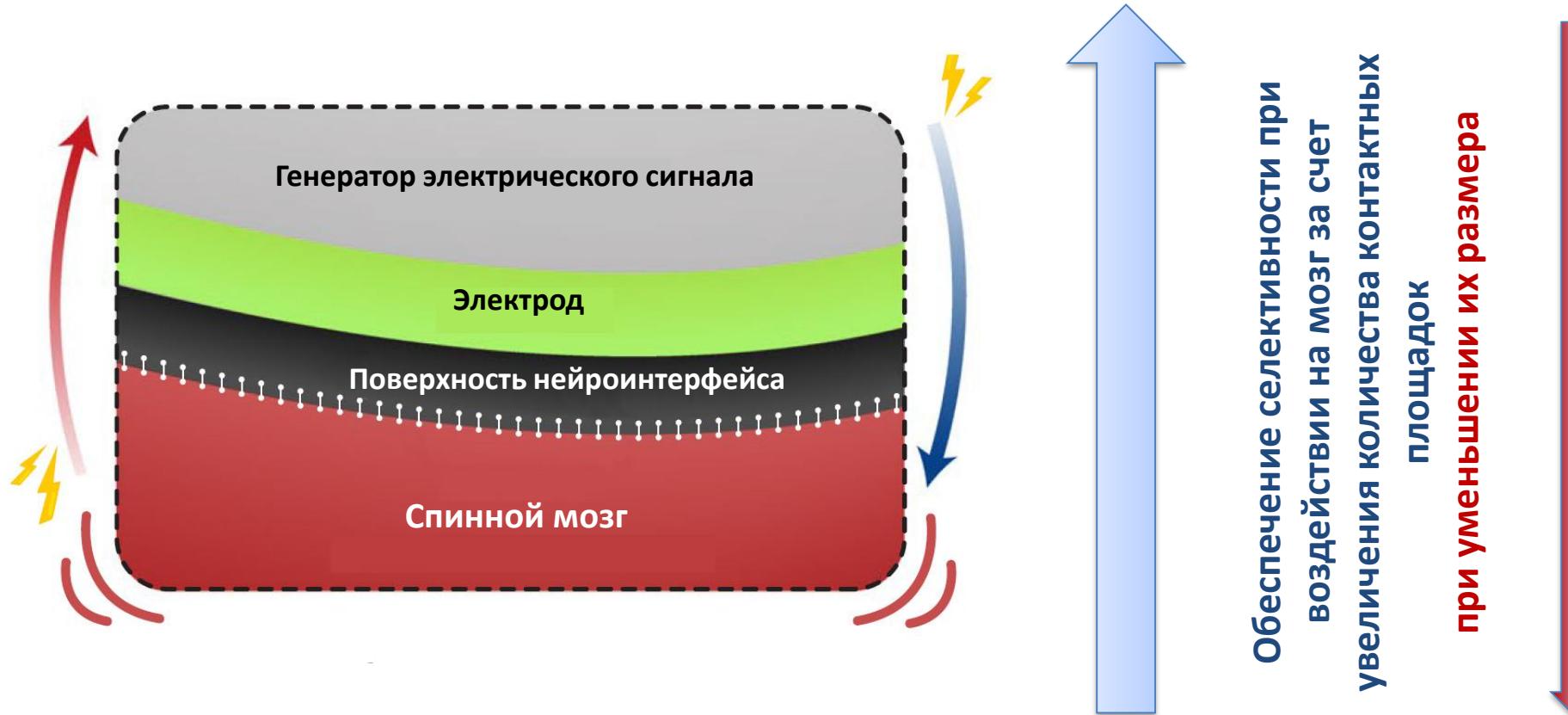


Рисунок 1 – Схематичное изображение контакта электродной части нейроинтерфейса с нервной тканью

Структура контактных площадок нейроинтерфейсов

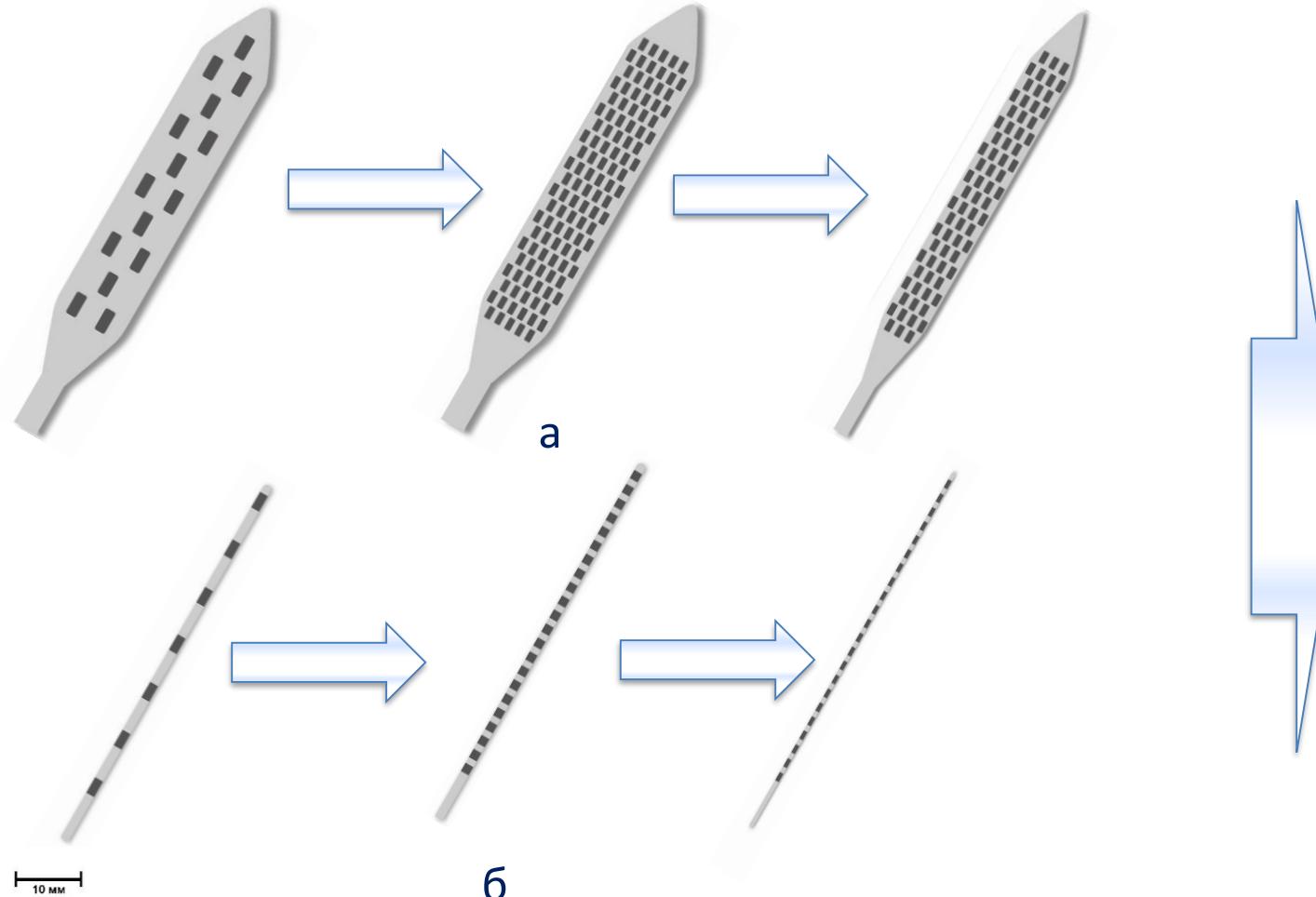


Рисунок 1 – Увеличение количества контактных площадок при уменьшении их размера на пластинчатых (а) и игольчатых (б) электродах

за счет формирования мультишаговой структуры поверхности, которая позволит обеспечить увеличение площади взаимодействия нейроинтерфейсной поверхности с поверхностью нервной ткани, что приведет к увеличению удельной поверхности и емкости заряда

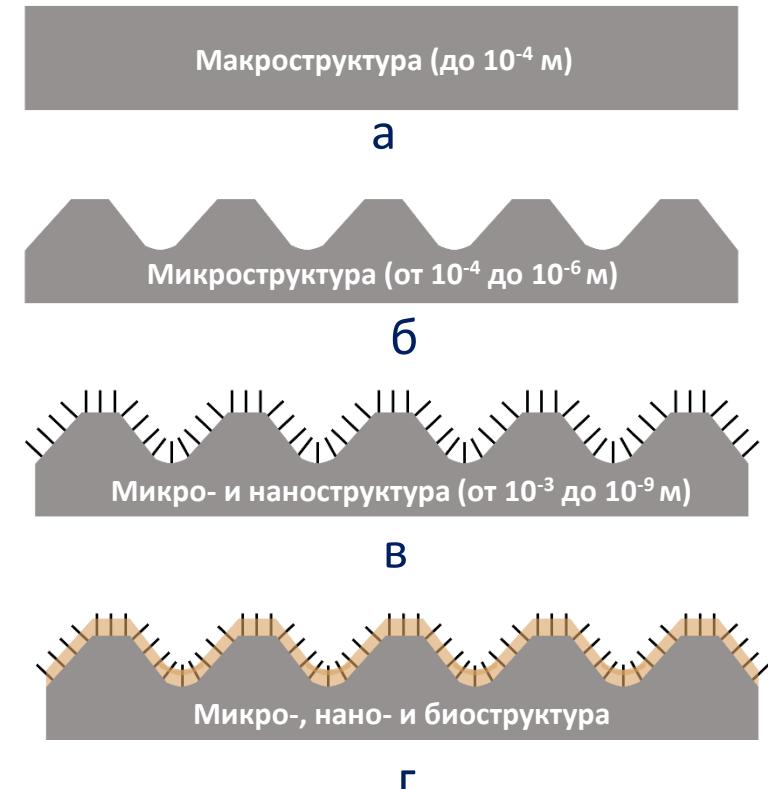


Рисунок 2 – Схематичный вид эволюции мультишаговой структуры электродов

Формирование и нанесение биополимер-углеродных жидким дисперсных сред с углеродными нанотрубками/графеном и биополимерами

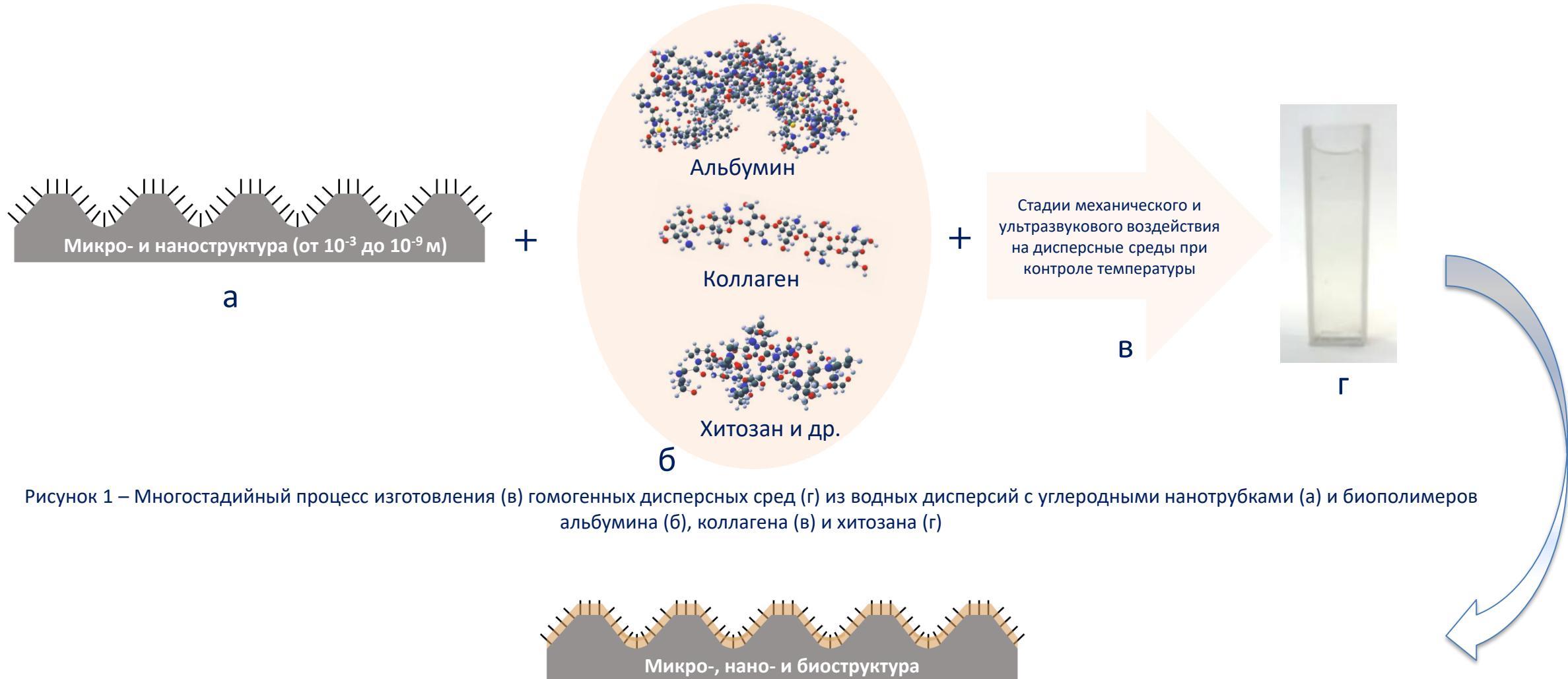


Рисунок 1 – Многостадийный процесс изготовления (в) гомогенных дисперсных сред (г) из водных дисперсий с углеродными нанотрубками (а) и биополимеров альбумина (б), коллагена (в) и хитозана (г)

Рисунок 2 – Послойное нанесение дисперсных сред на поверхность с помощью метода спрей-распыления

Формирование нейроинтерфейсов на основе электропроводящих биополимерных композиционных материалов с углеродными наночастицами методом двухфотонной полимеризации

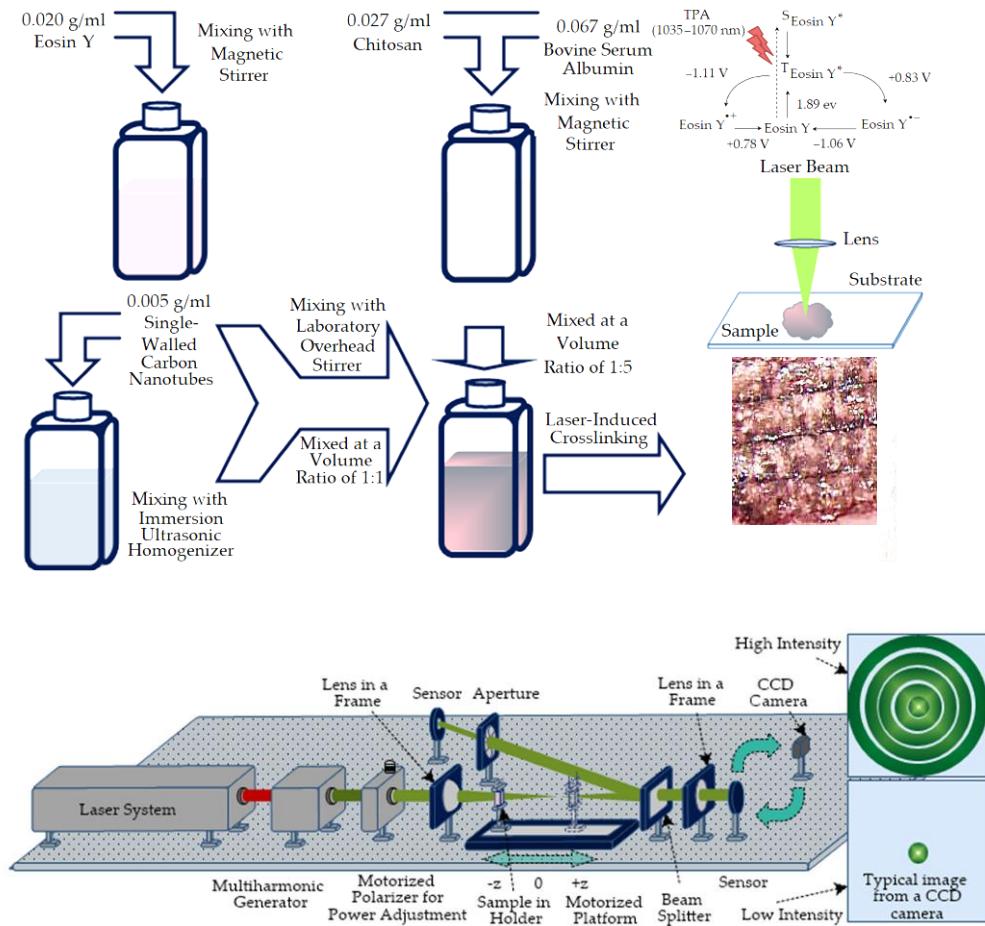


Figure 1 – Manufacturing method. The polymer composite was formed using IR laser radiation at a wavelength of 1070 nm and a pulse duration of 200 ns. Two-photon absorption (TPA) in Eosin Y is similar to green light absorption

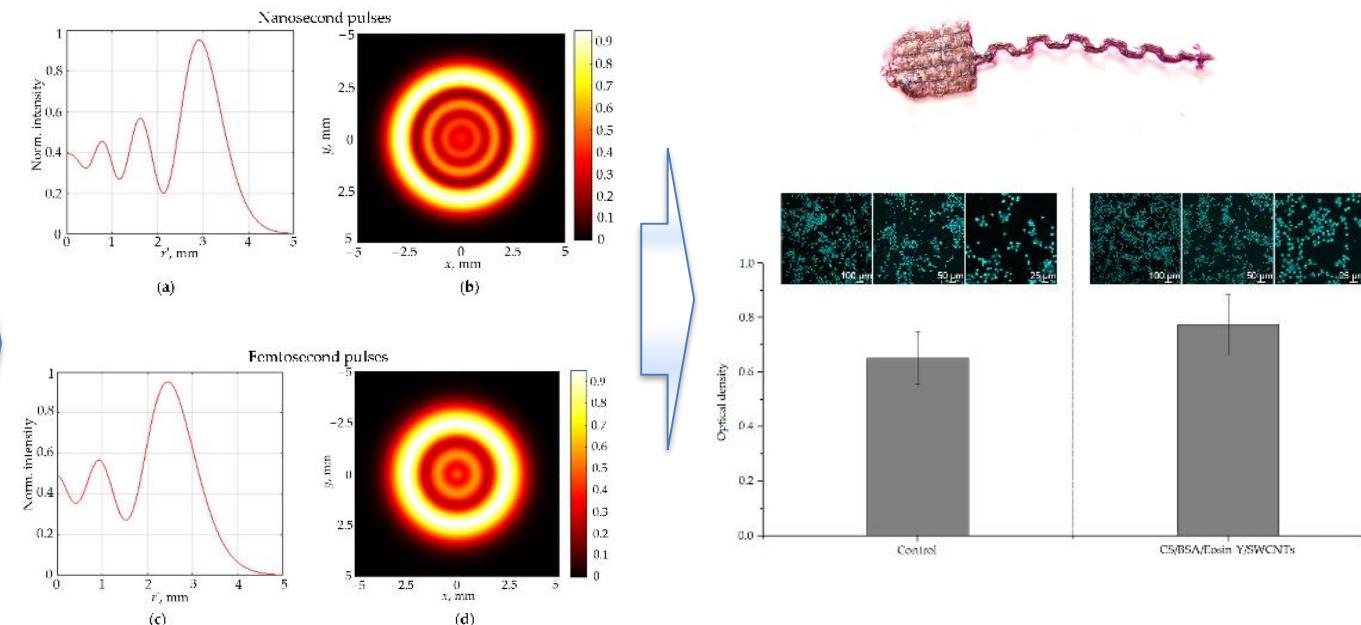


Figure 2 – Spatial beam profiles after interaction with the sample: radial (a,c) and two-dimensional (b,d) patterns for radiation with nano- and femtosecond pulse durations in the absence of thermal convection

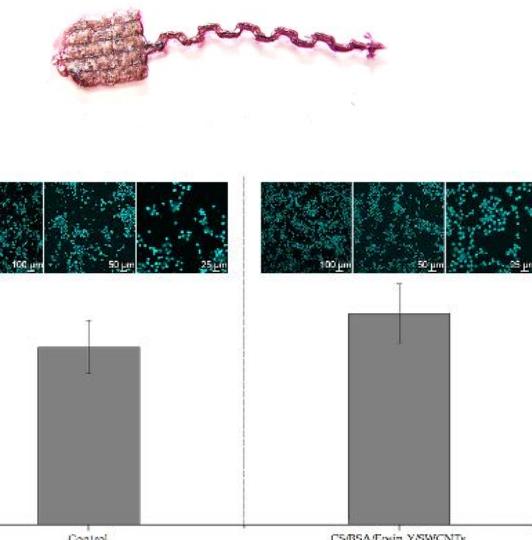


Figure 3 – Cell morphology and biocompatibility studies results for sample CS/BSA/Eosin Y/SWCNTs and control samples with different magnification after 72 h of cultivation

Управление образованием пористого наноматериала в жидкой дисперсной среде на основе углеродных нанотрубок с помощью нелинейного взаимодействия импульсного лазерного излучения со средой

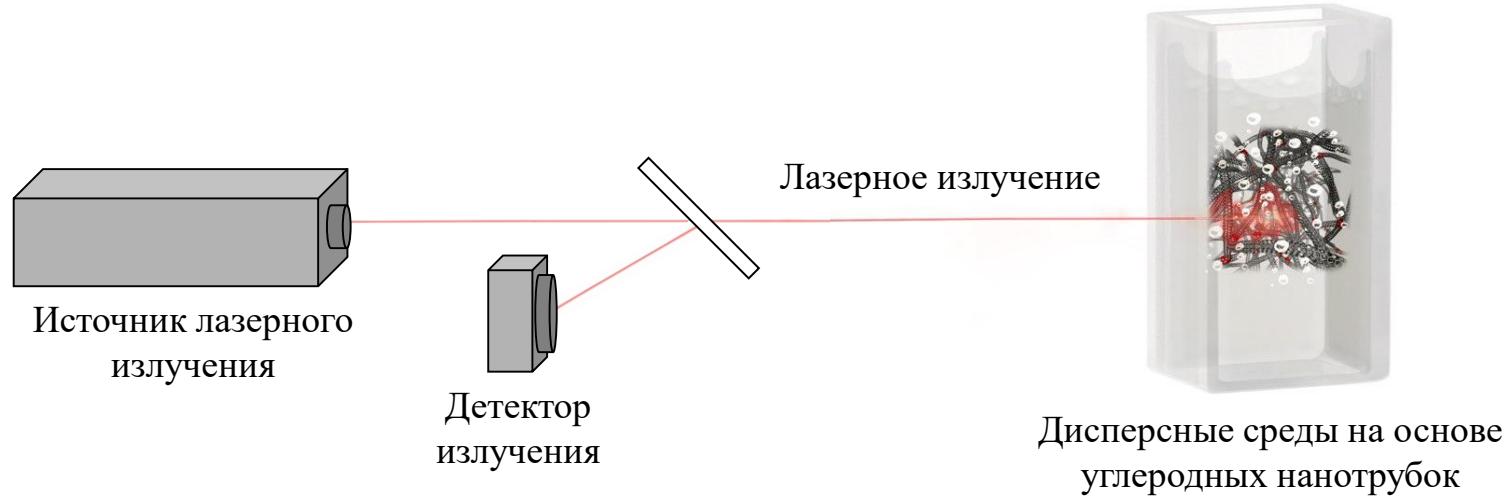
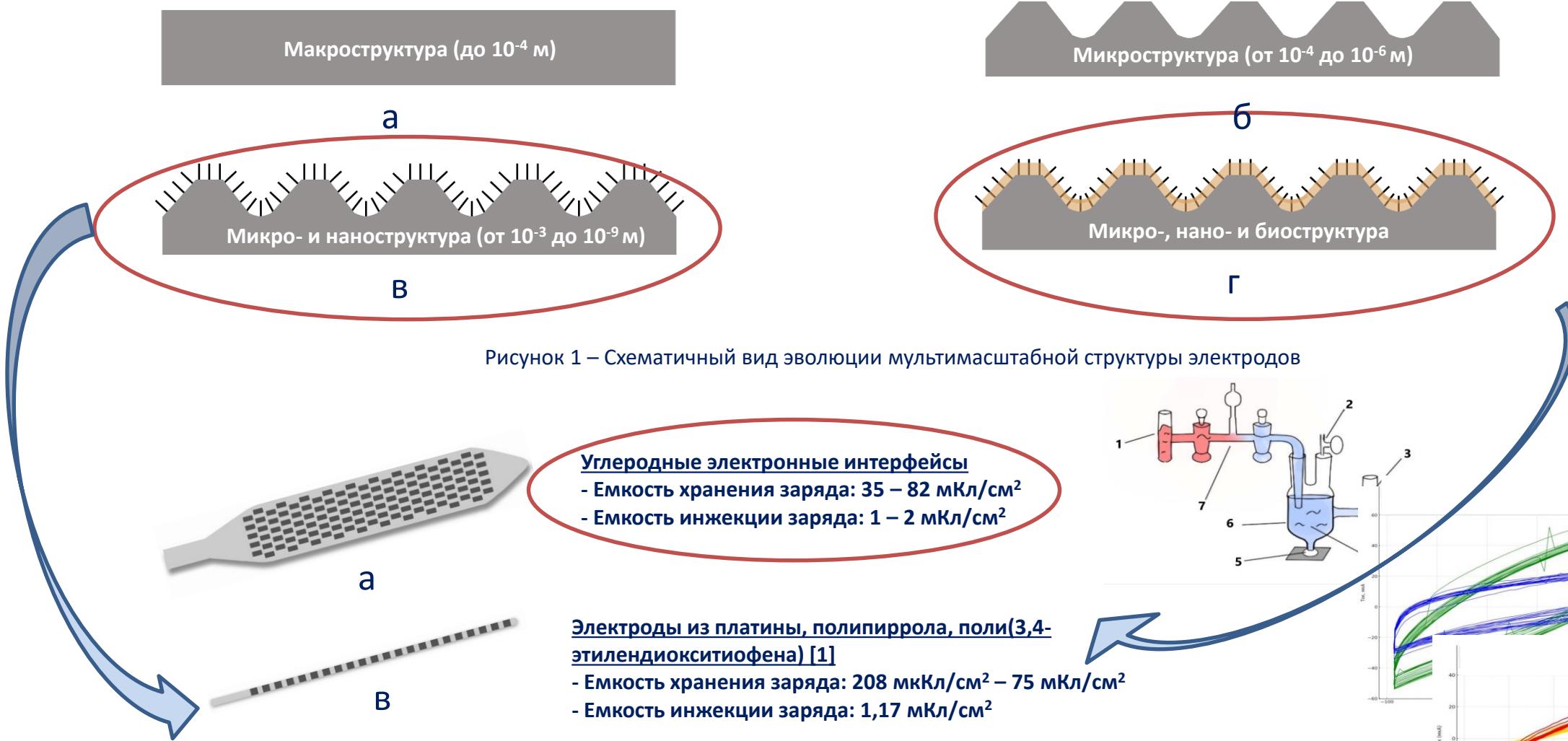


Рисунок 1 – Изменение состояния жидкой среды вблизи каркаса из углеродных нанотрубок при образовании пористого наноматериала



Рисунок 2 – Управление образованием пористого наноматериала с помощью контроля нелинейных характеристик взаимодействия импульсного лазерного излучения со средой

Формирование мульти масштабной структуры электродной части нейроинтерфейсов



Благодарю за внимание!

Герасименко Александр Юрьевич

gerasimenko@bms.zone



СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАУК О ЖИЗНИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ЭПИДЕМИОЛОГИИ И МИКРОБИОЛОГИИ
ИМЕНИ Н.Ф. ГАМАЛЕИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИМПН РАН



МИЭТ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ИМПЛАНТИРУЕМЫЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСЫ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ИМПЛАНТИРУЕМЫЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСЫ 2026» (МИН-2026)

21-22 октября 2026

г. Зеленоград, Москва
Национальный исследовательский университет "МИЭТ"



@MICROELECTRONIC
NEUROINTERFACES