



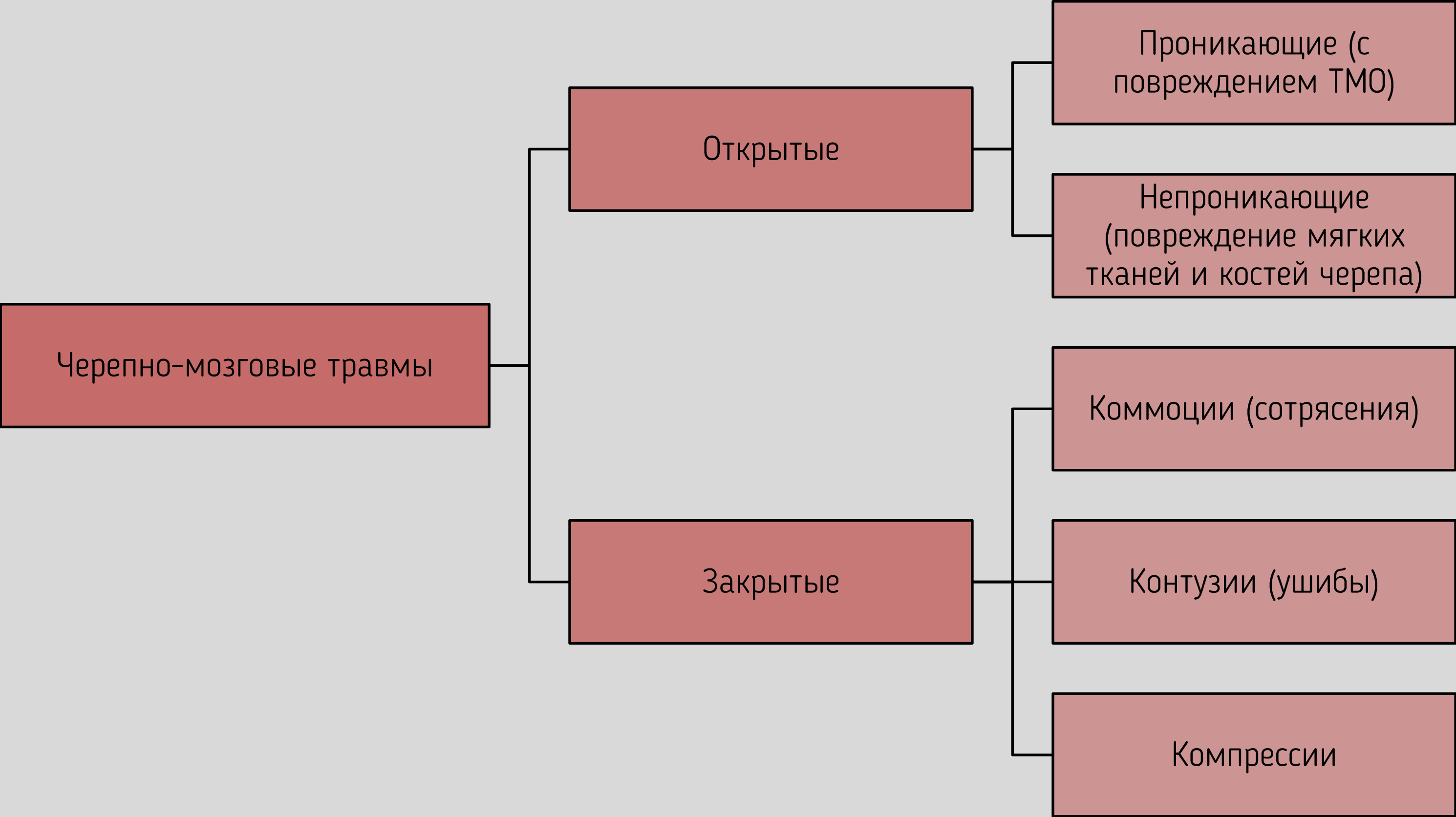
Патогенетическое обоснование разработки математической модели твёрдой мозговой оболочки человека с перспективами 3D-моделирования и биопечати

Алексеев Д.Е., Товпеко Д.В., Пастухова О.А., Перова А.П., Рогожин М.Ю.

Научный руководитель – Коровин А.Е., д.м.н., проф.

Санкт-Петербург, 2020

Схема 1 – Классификация черепно-мозговых травм



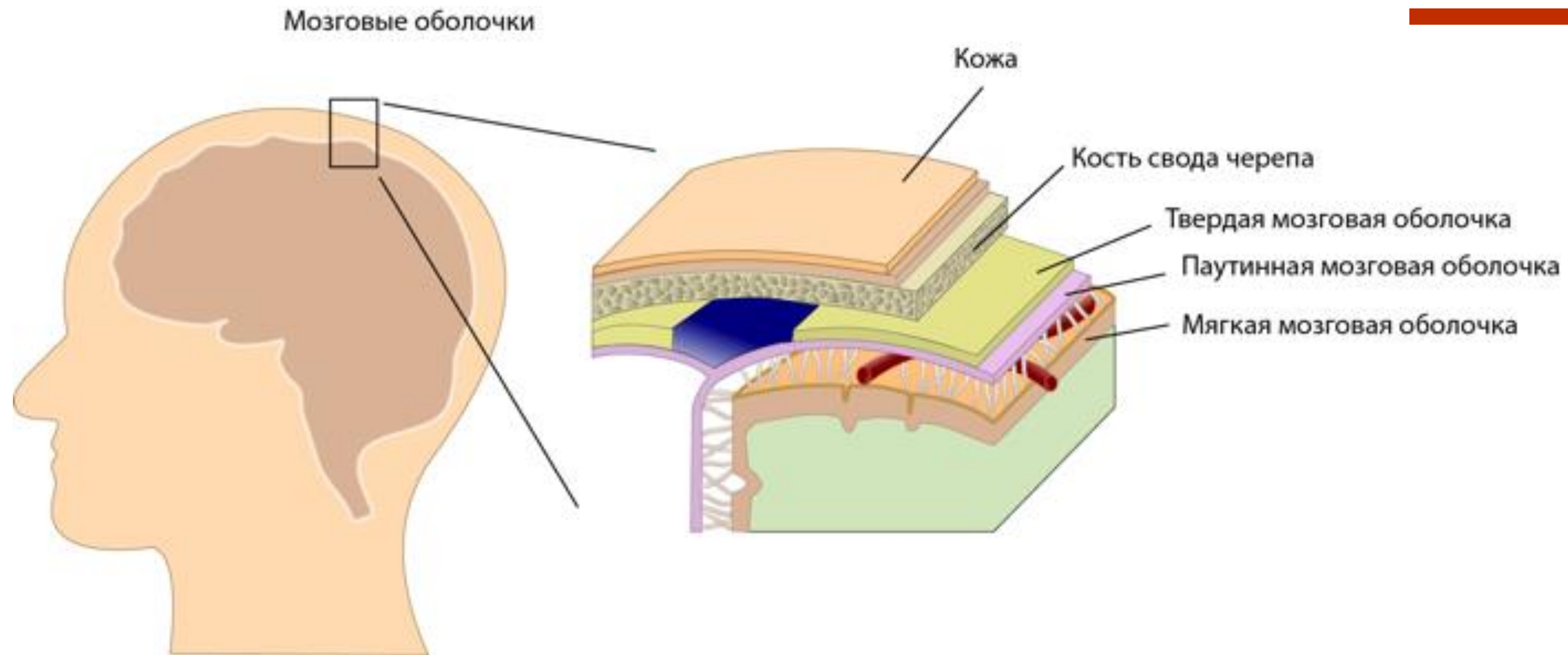


Рисунок 1 – Упрощенное изображение строения оболочек головного мозга

Цели



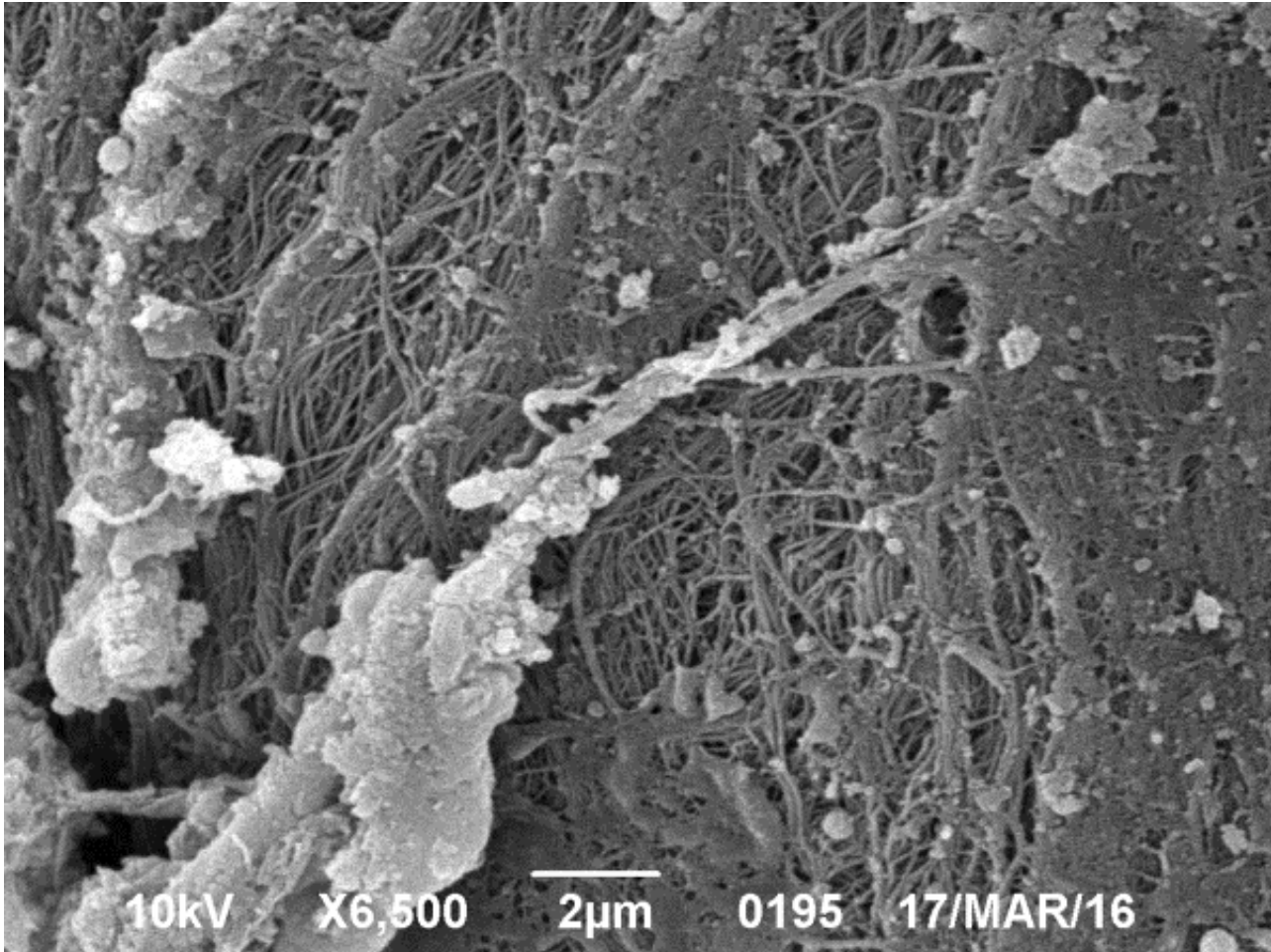
- Исследовать и сравнить ультраструктуру твёрдой мозговой оболочки (ТМО) человека и различных материалов для её пластики и замещения дефектов с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ);
- Представить патогенетическое обоснование разработки математической модели ТМО для 3D-моделирования с перспективой биопечати ее искусственных аналогов.

Таблица 1 – Искусственные заменители ТМО, исследованные с помощью СЭМ

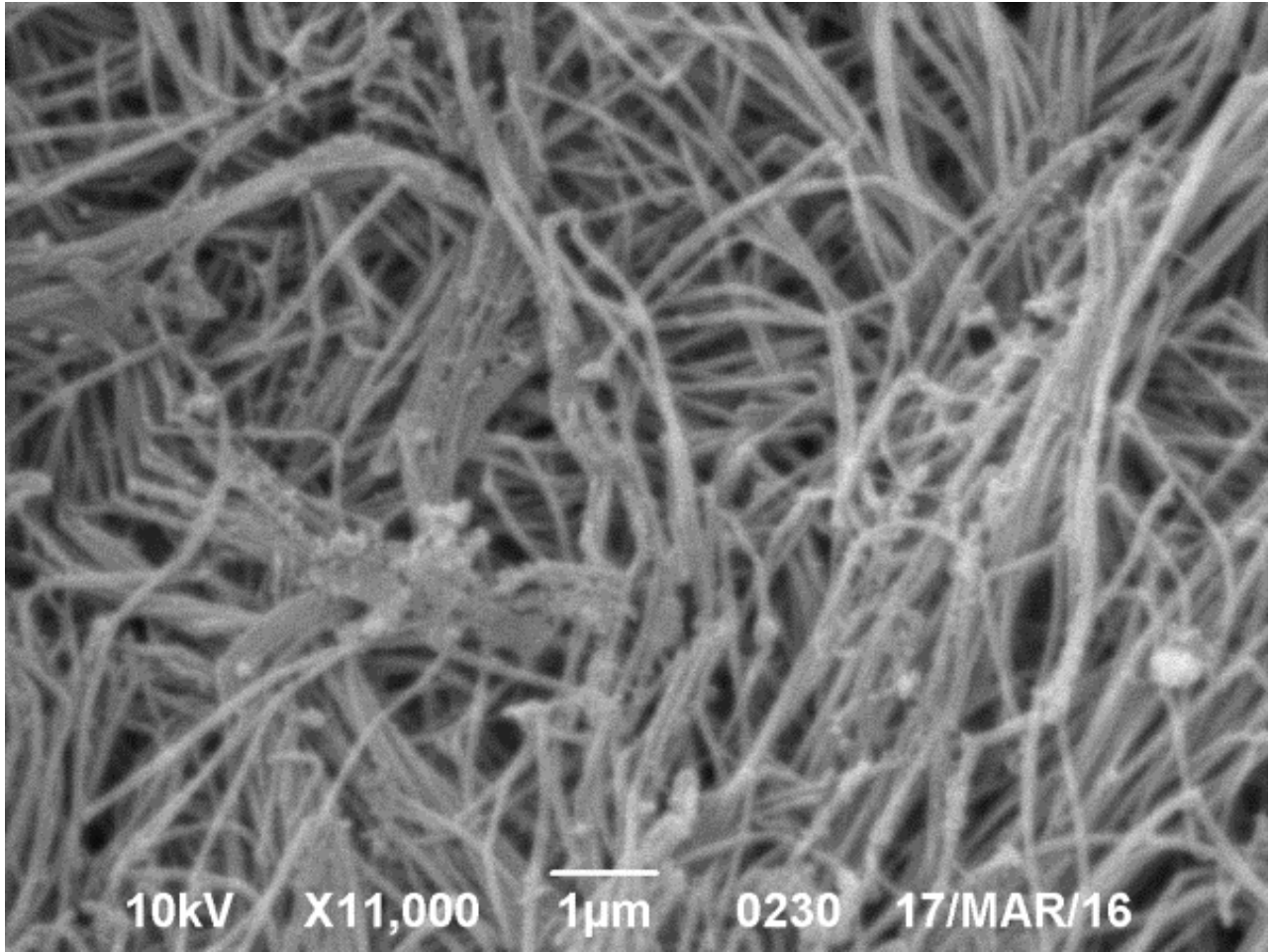
Материал	Производитель	Химический состав волокон
Duraform	Codman (США)	Коллаген*
Белкозин	ОАО «Белкозин» (РФ)	Коллаген*
Lyostypt	BBraun (Германия)	Коллаген*
Durepair	Medtronic (США)	Коллаген (эмбриональная бычья дерма)*
Lyoplant	BBraun (Германия)	Коллаген (бычий перикард)*
Neuropatch	BBraun (Германия)	Полиэтеруретан*
Gore Preclude dura substitute	Gore (США)	Политетрафторэтилен*
ReDura	Medprin (Китай)	Полилактид*

Рисунок 2 – Результаты СЭМ ТМО: а – наружная поверхность; б – внутренняя поверхность; в, г – срезы

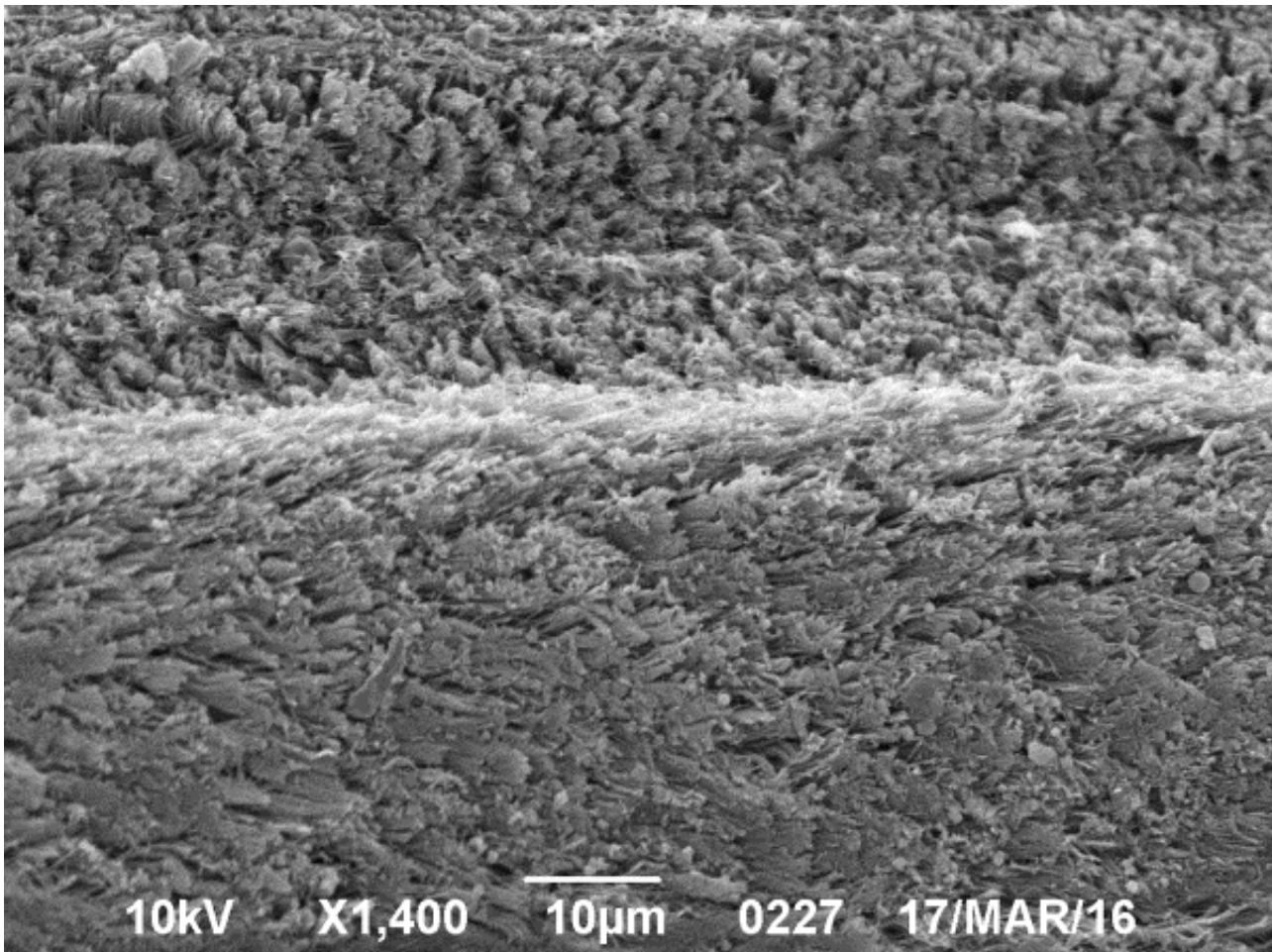
А



Б



В



Г

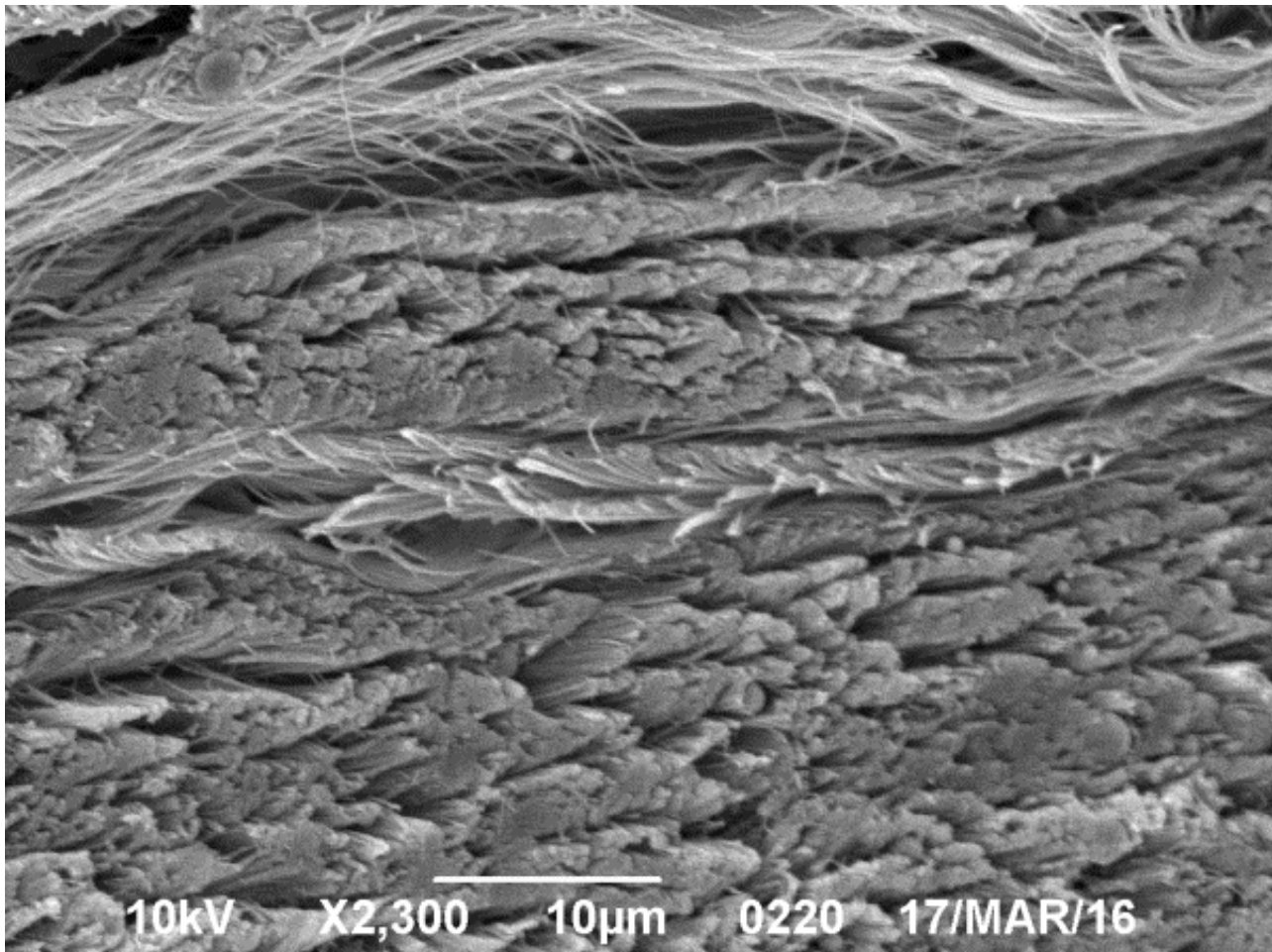
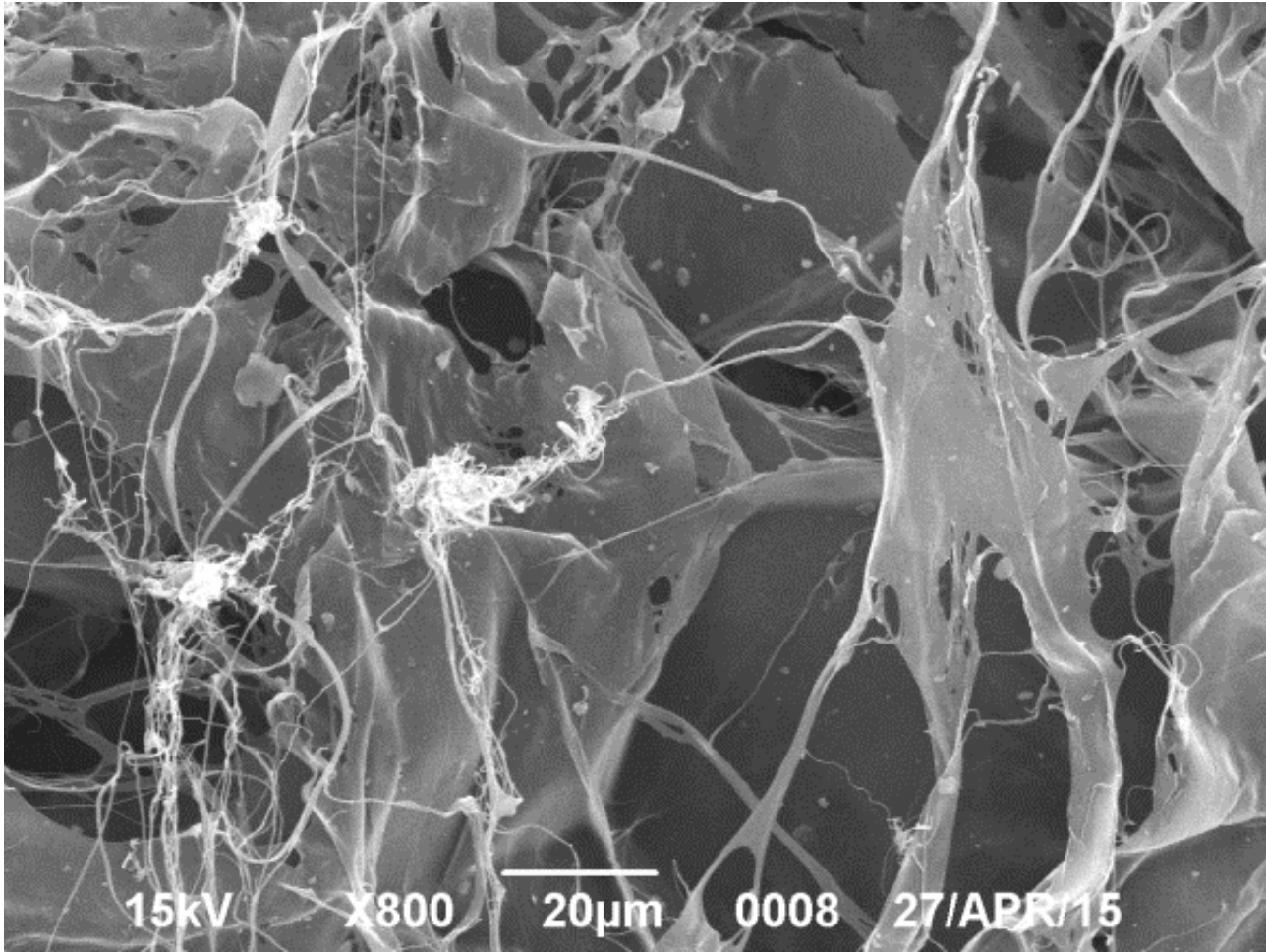
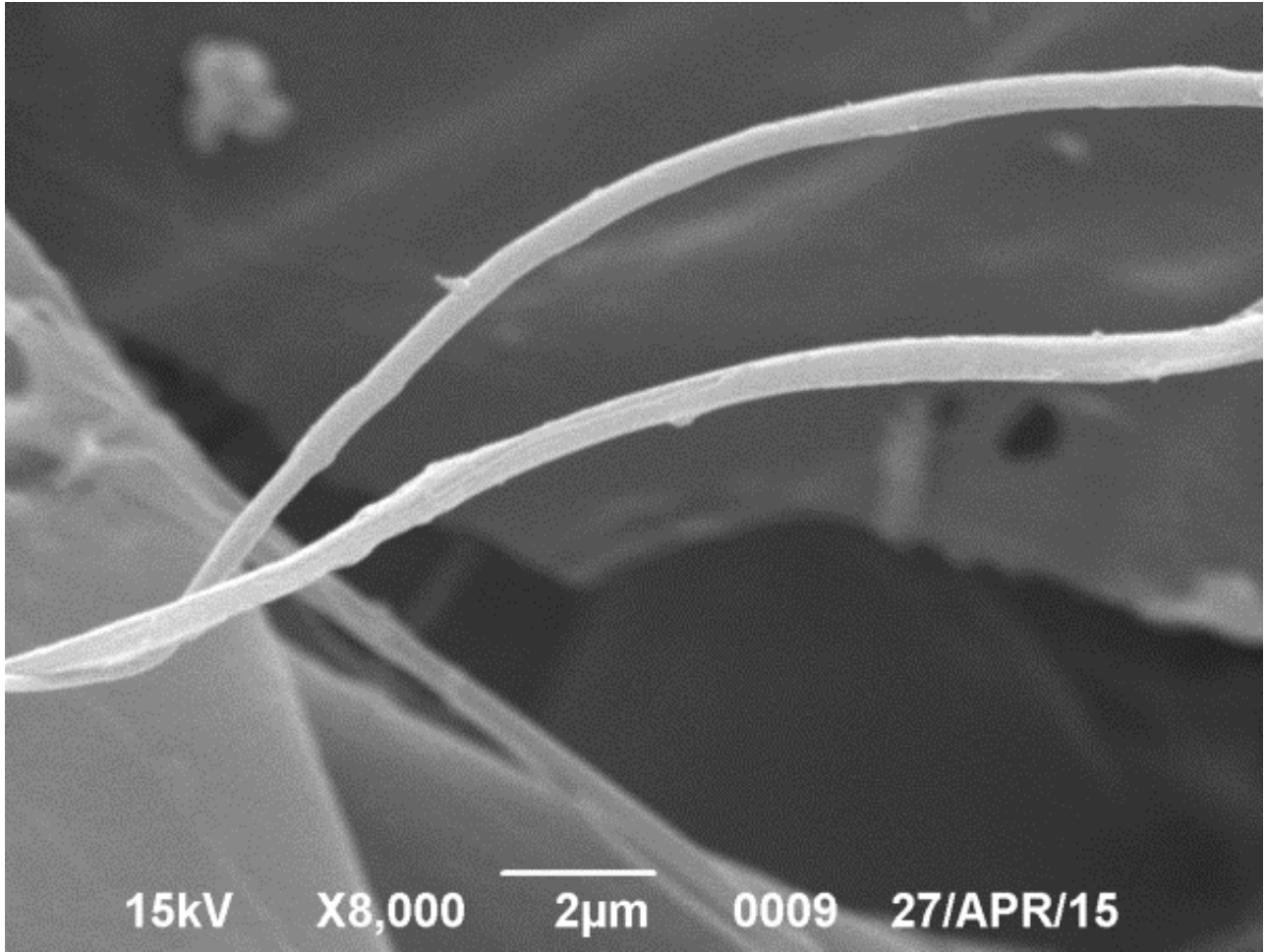


Рисунок 3 – Результаты СЭМ материала Duraform: а, б – поверхность; в, г – срез.

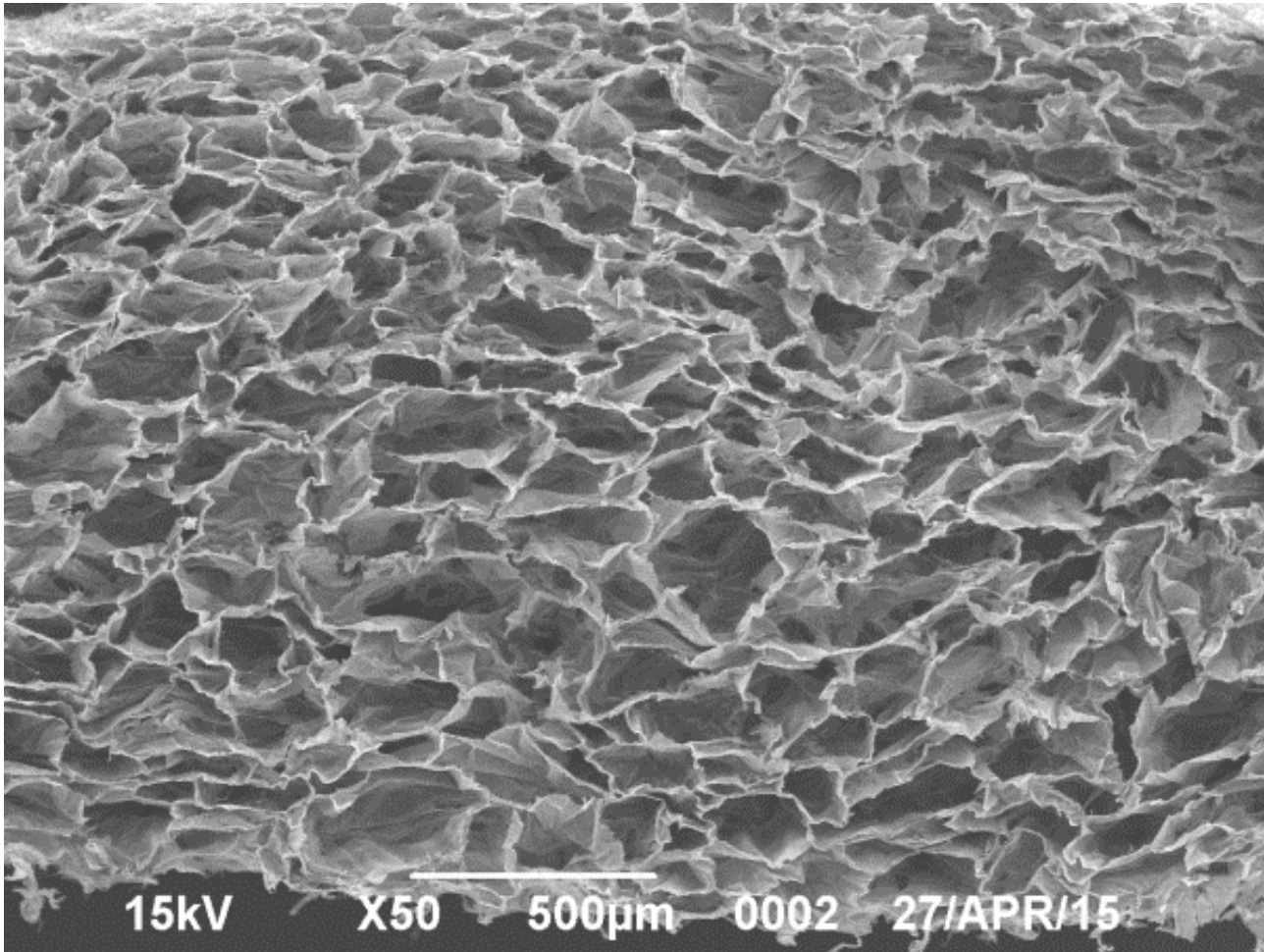
А



Б



В



Г

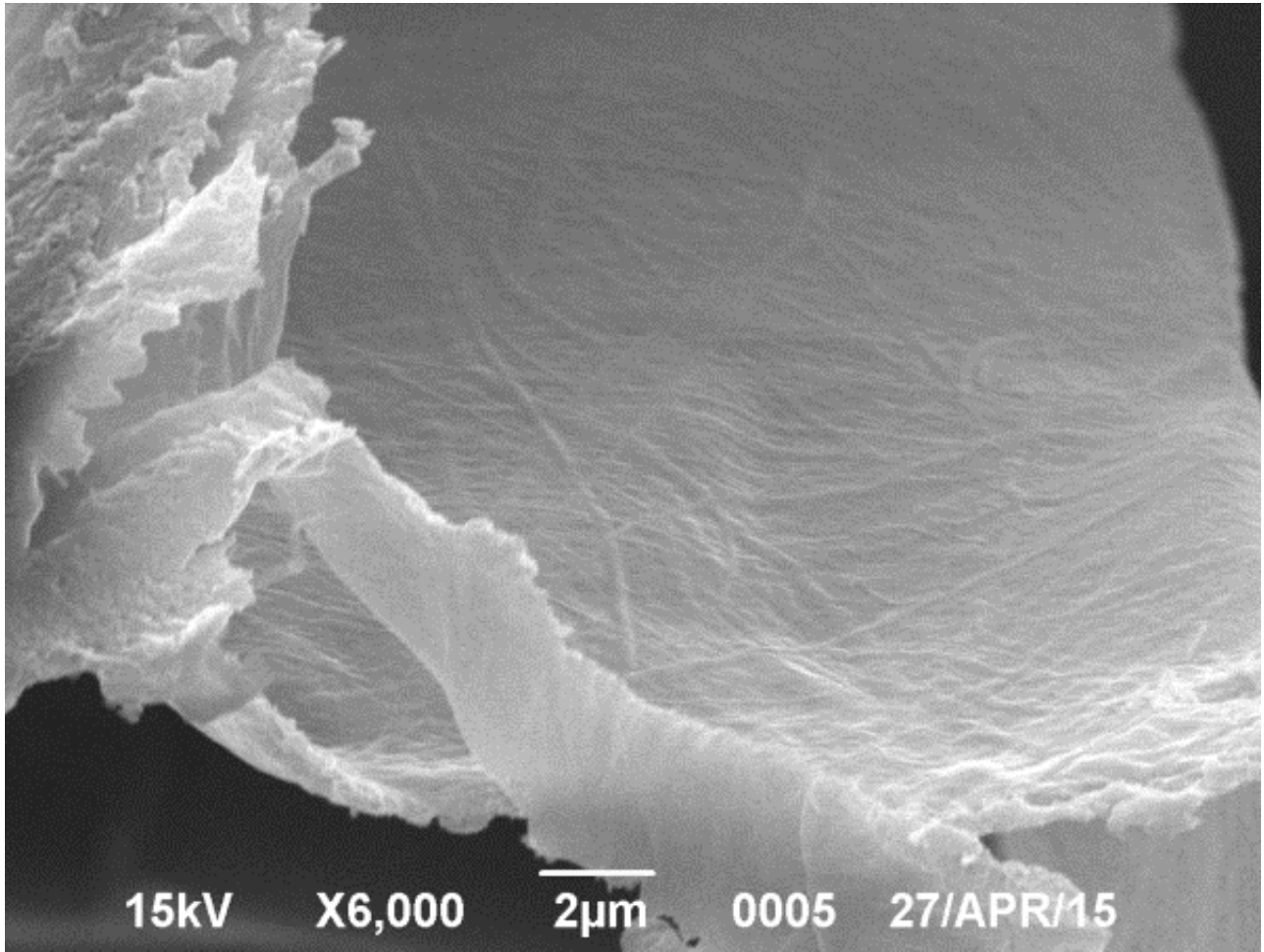
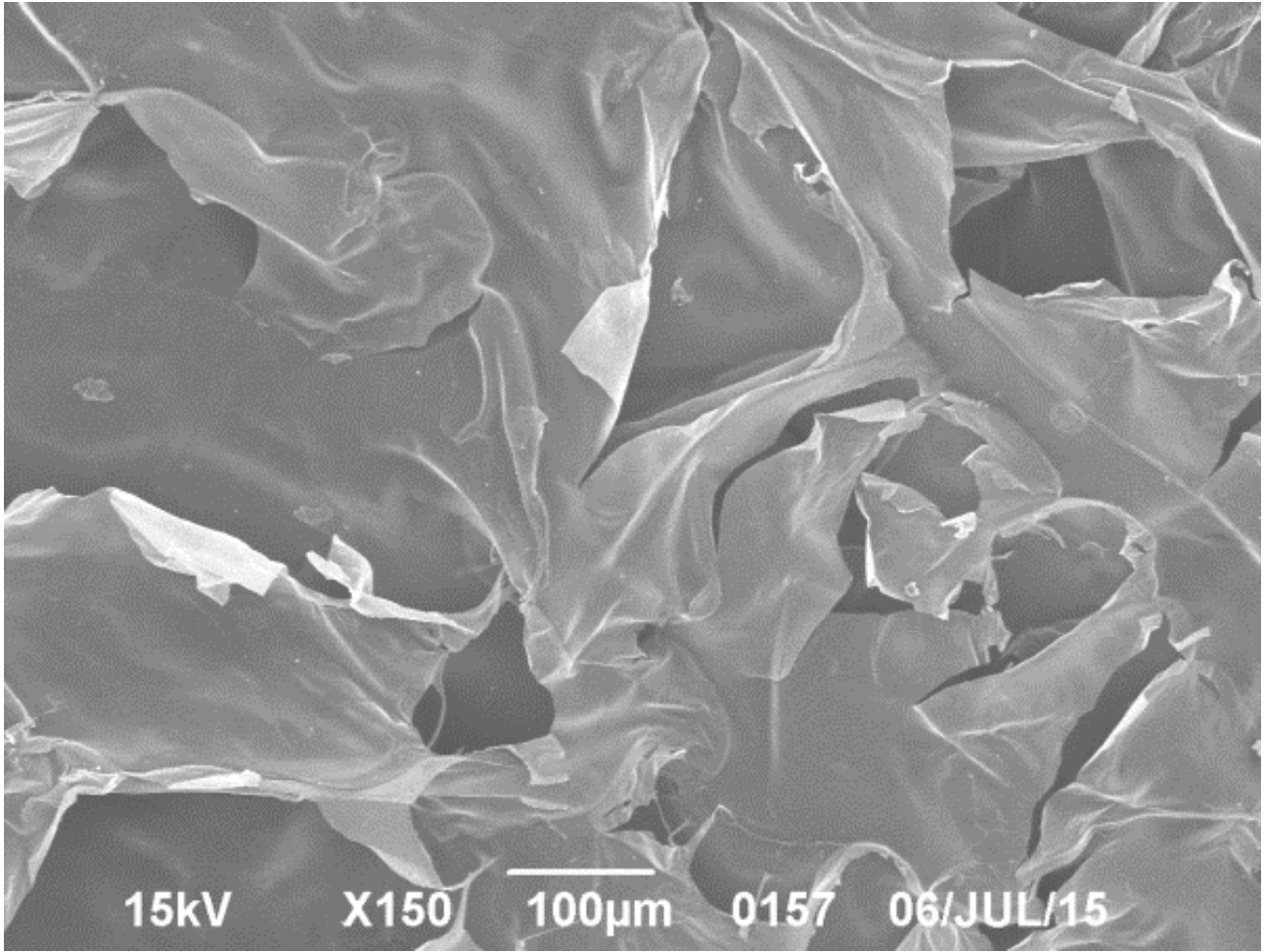
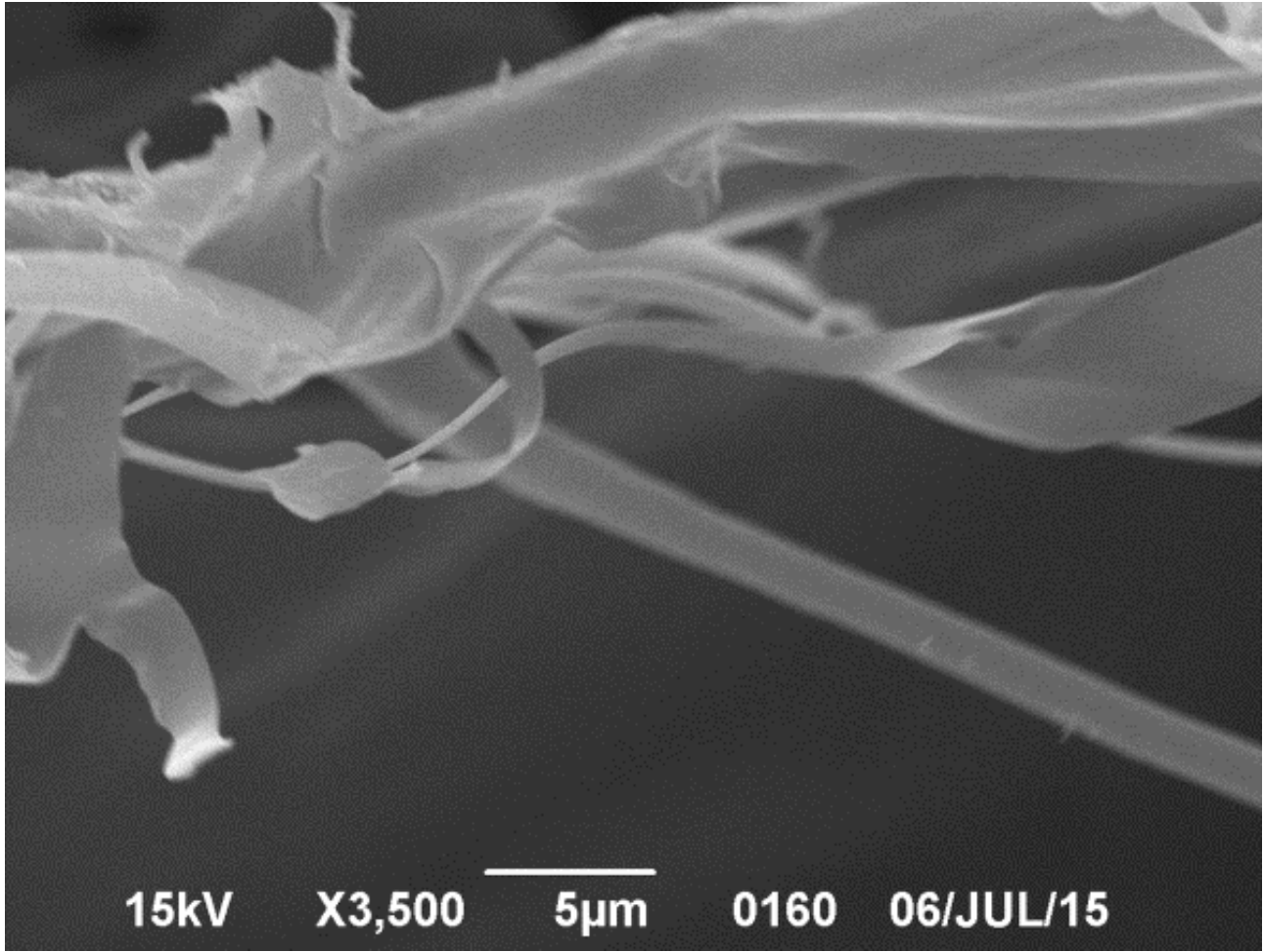


Рисунок 4 – Результаты СЭМ коллагенового матрикса Белкозин: а, б – поверхность; в, г – срез.

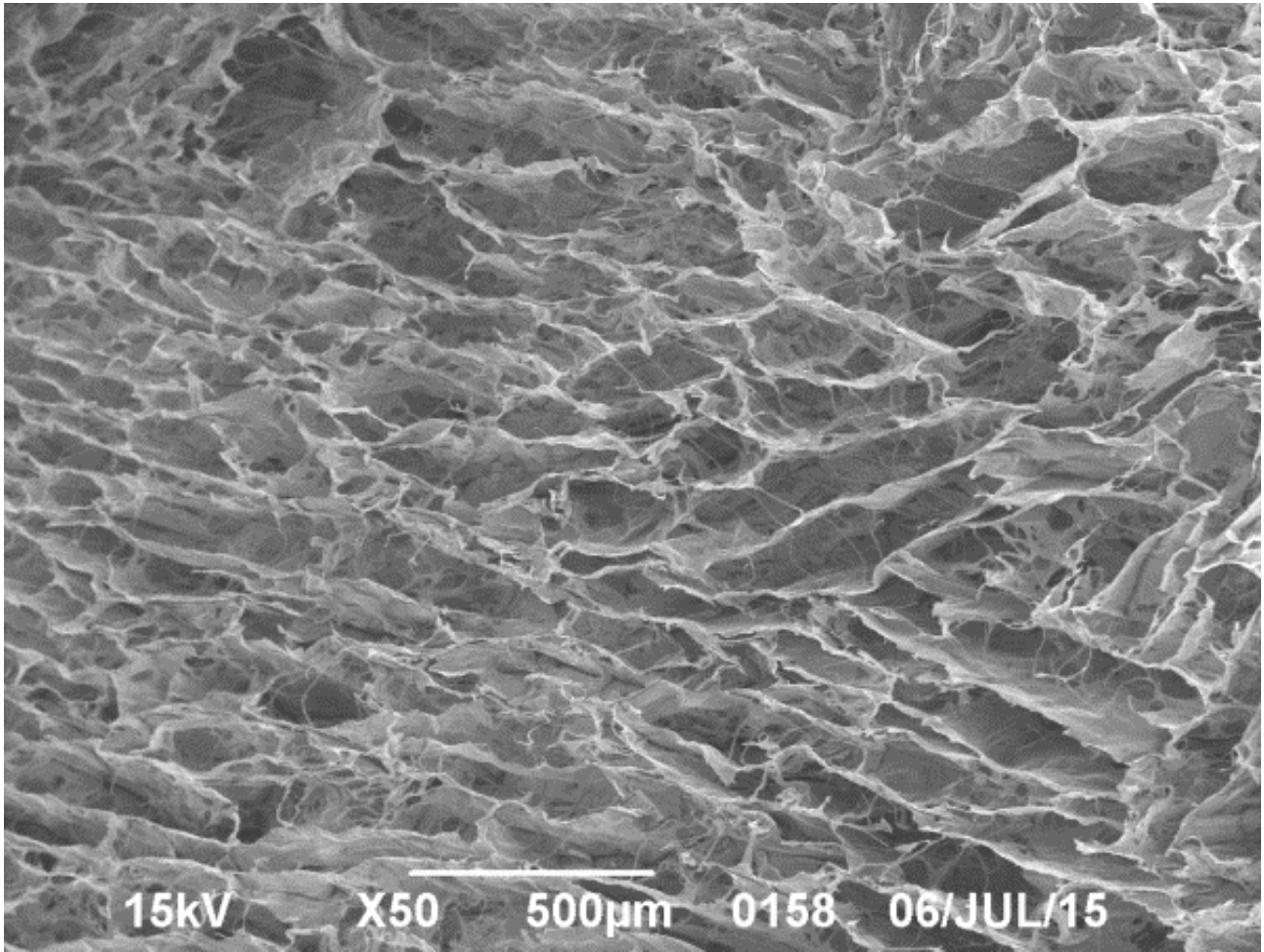
А



Б



В



Г

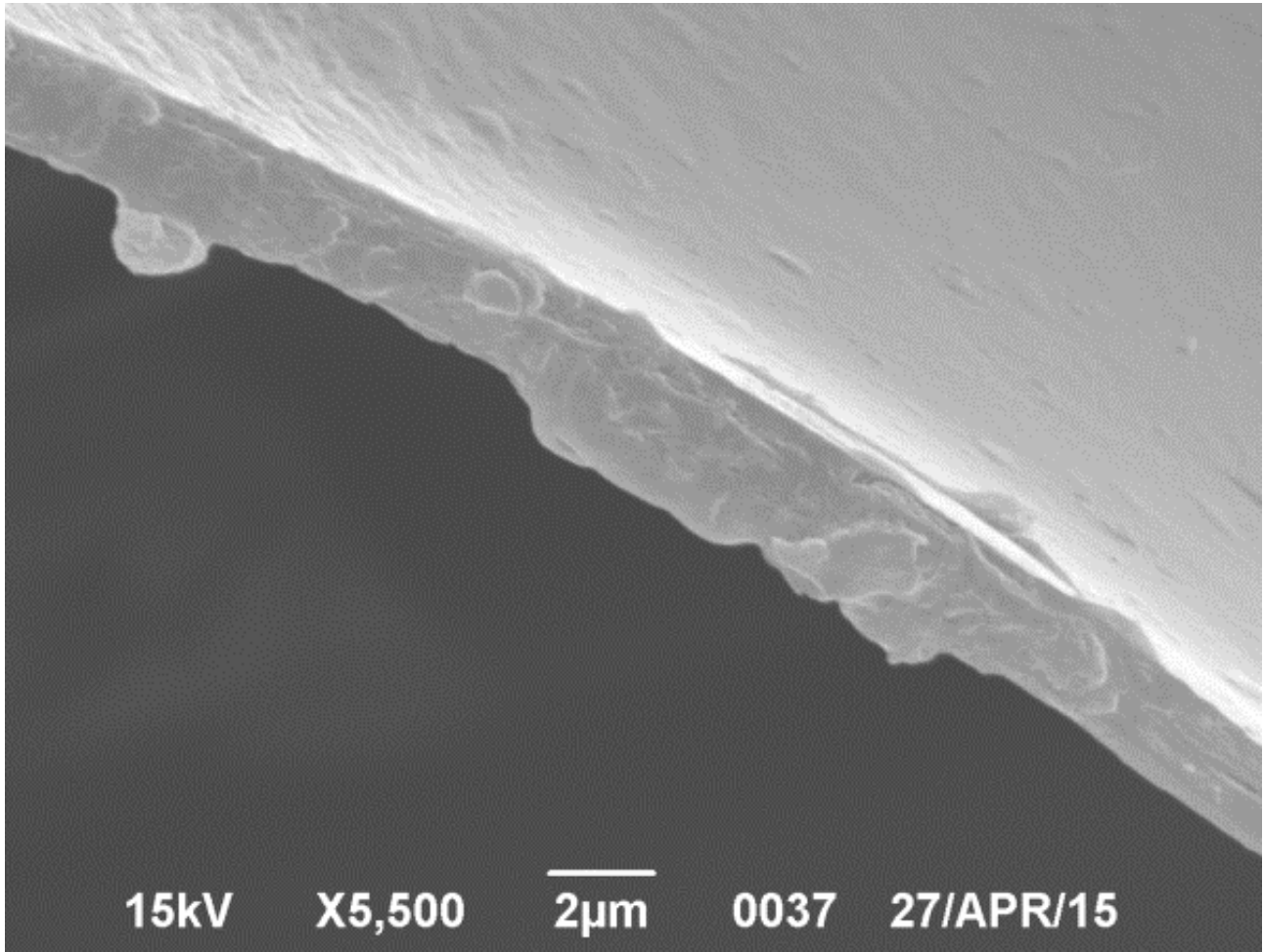
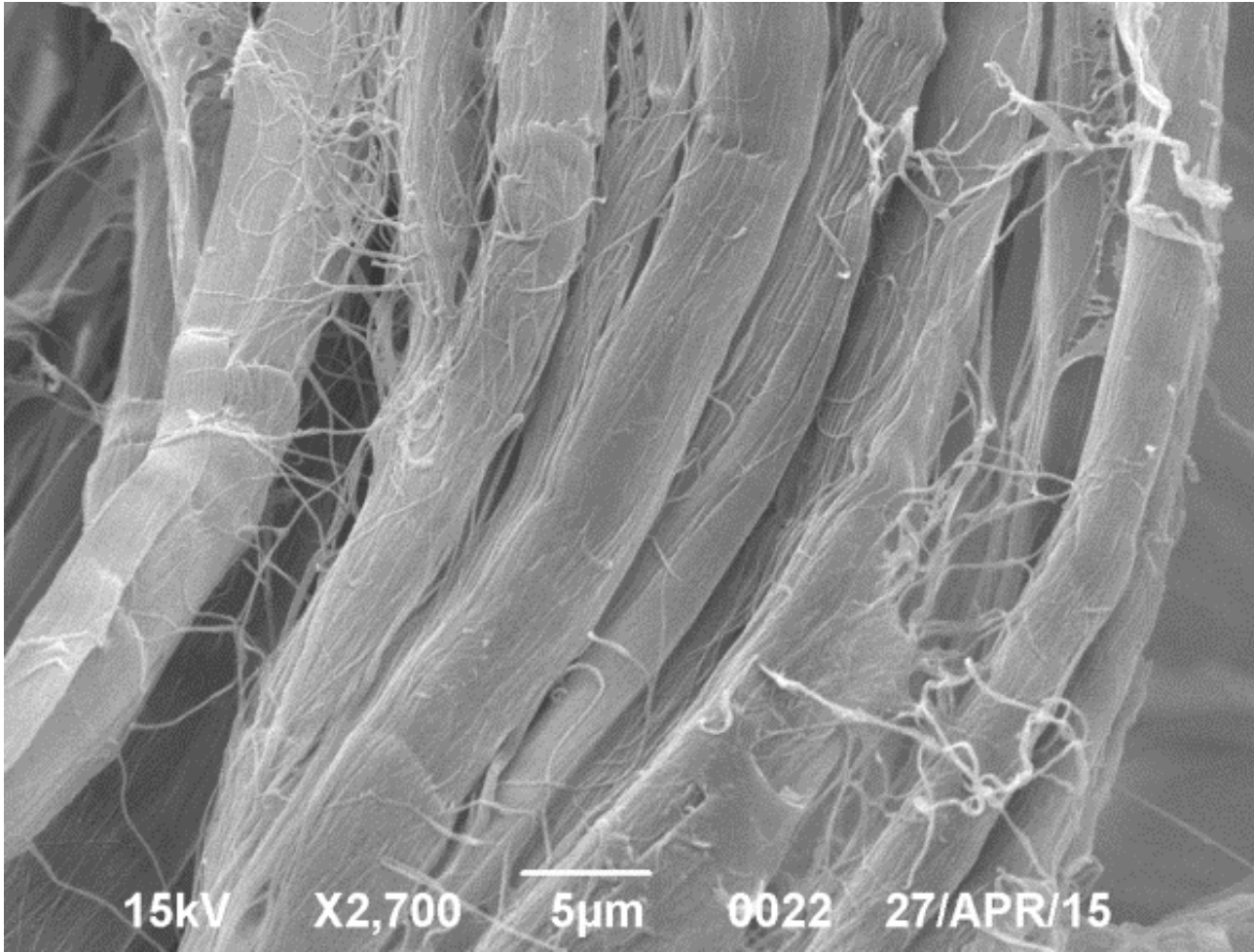
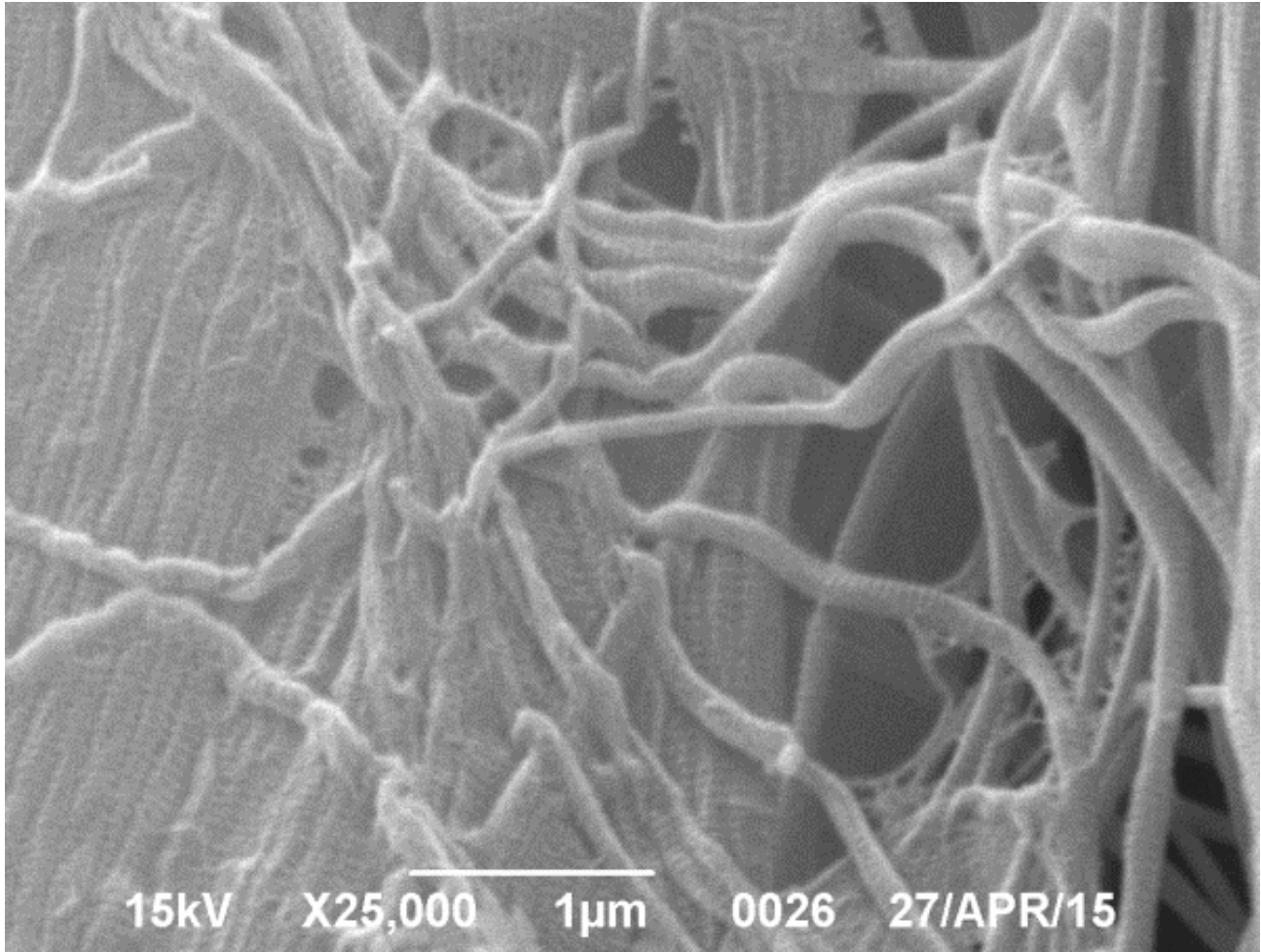


Рисунок 5 – Результаты СЭМ материала Lyostypt: а, б – поверхность; в, г – срез.

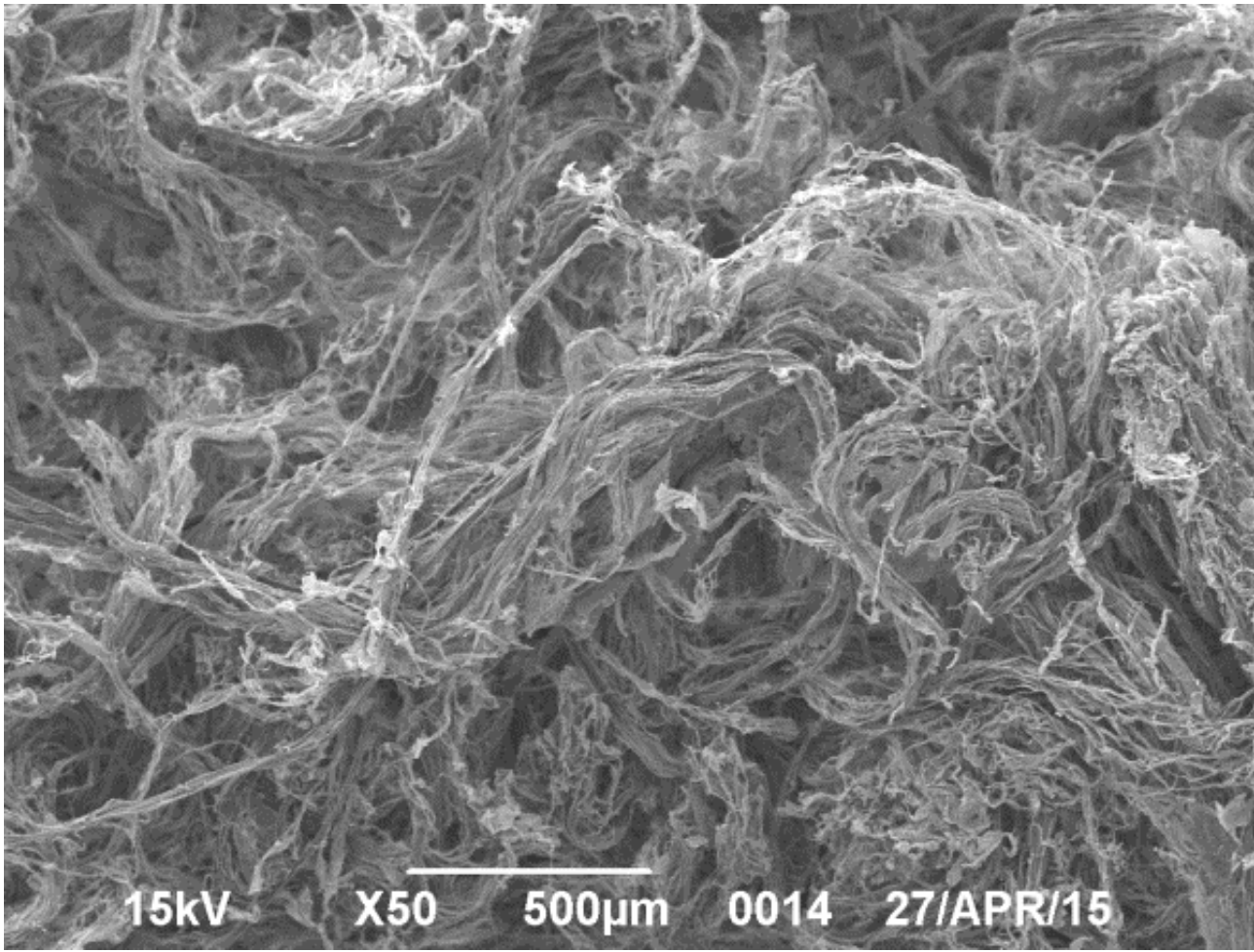
А



Б



В



Г

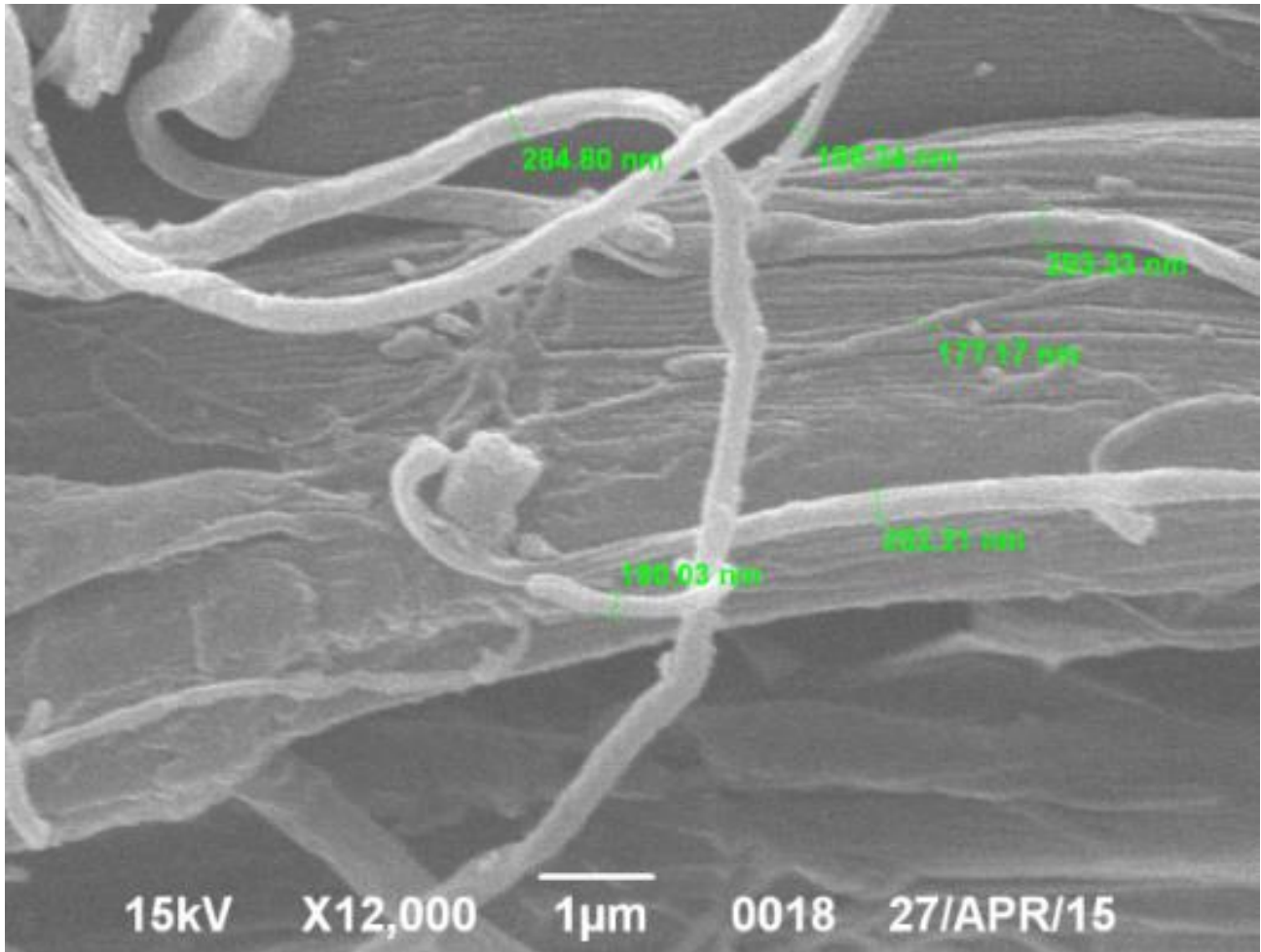
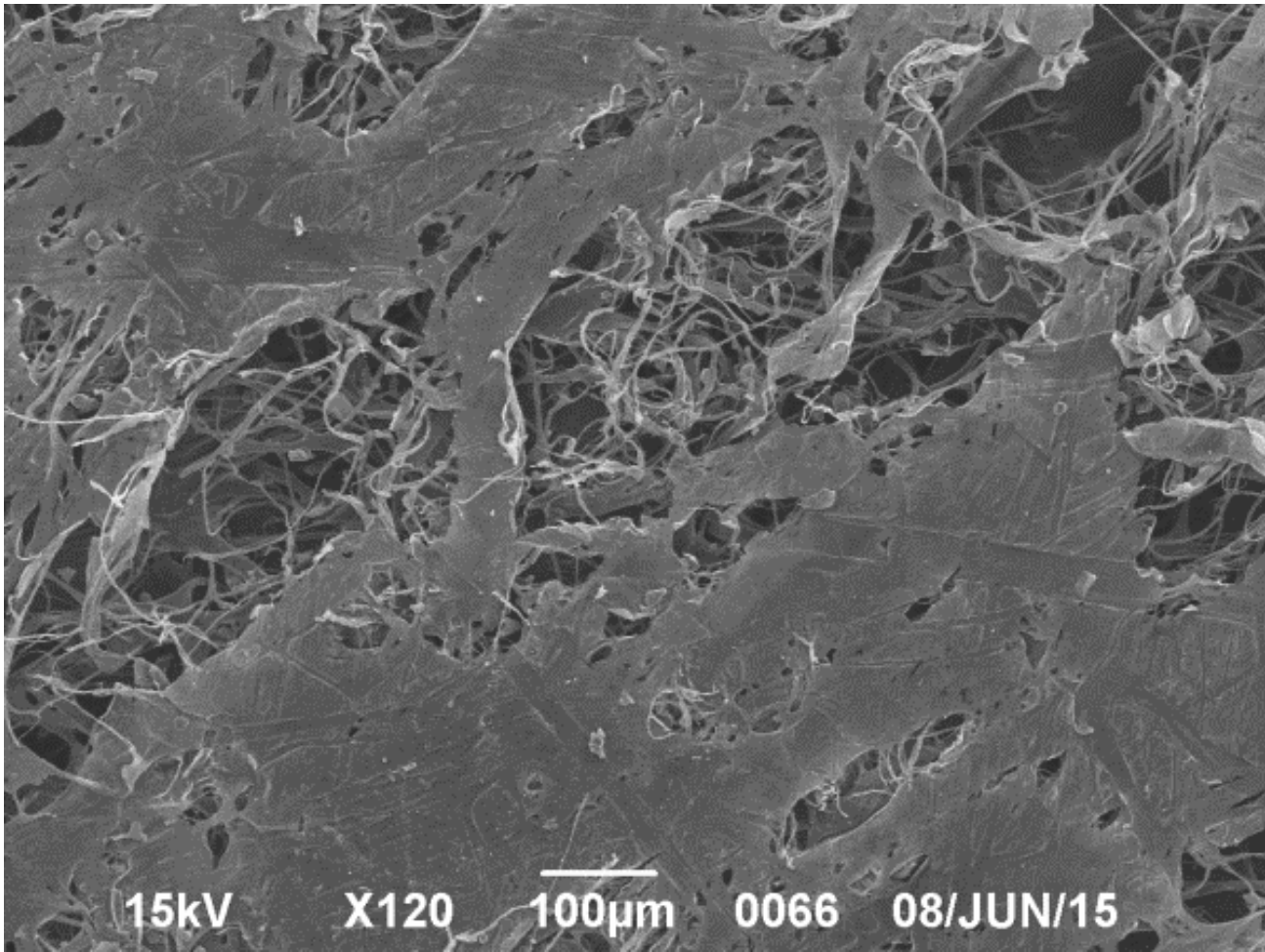
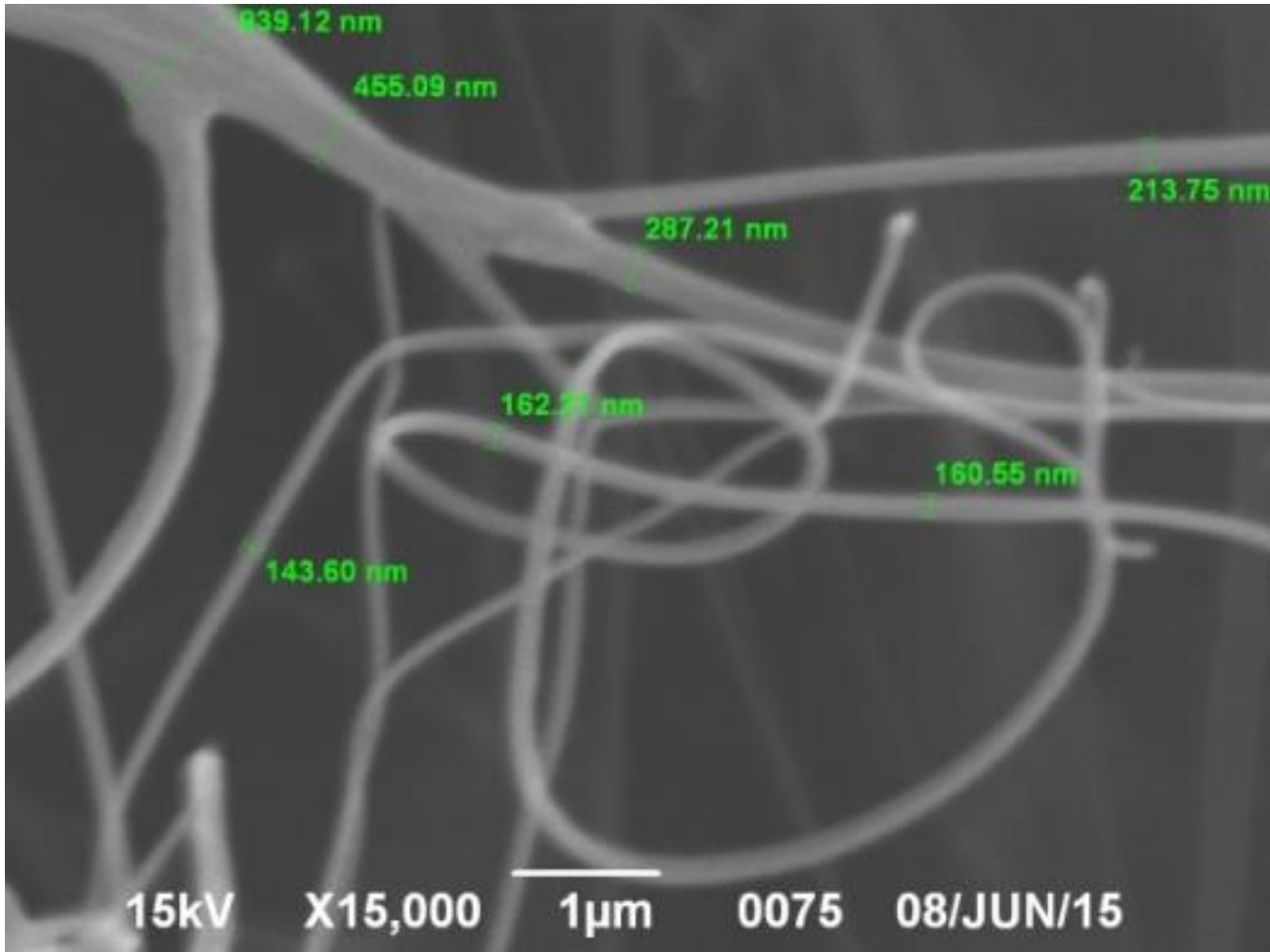


Рисунок 6 – Результаты СЭМ материала Durepair: а, б – поверхность; в, г – срез.

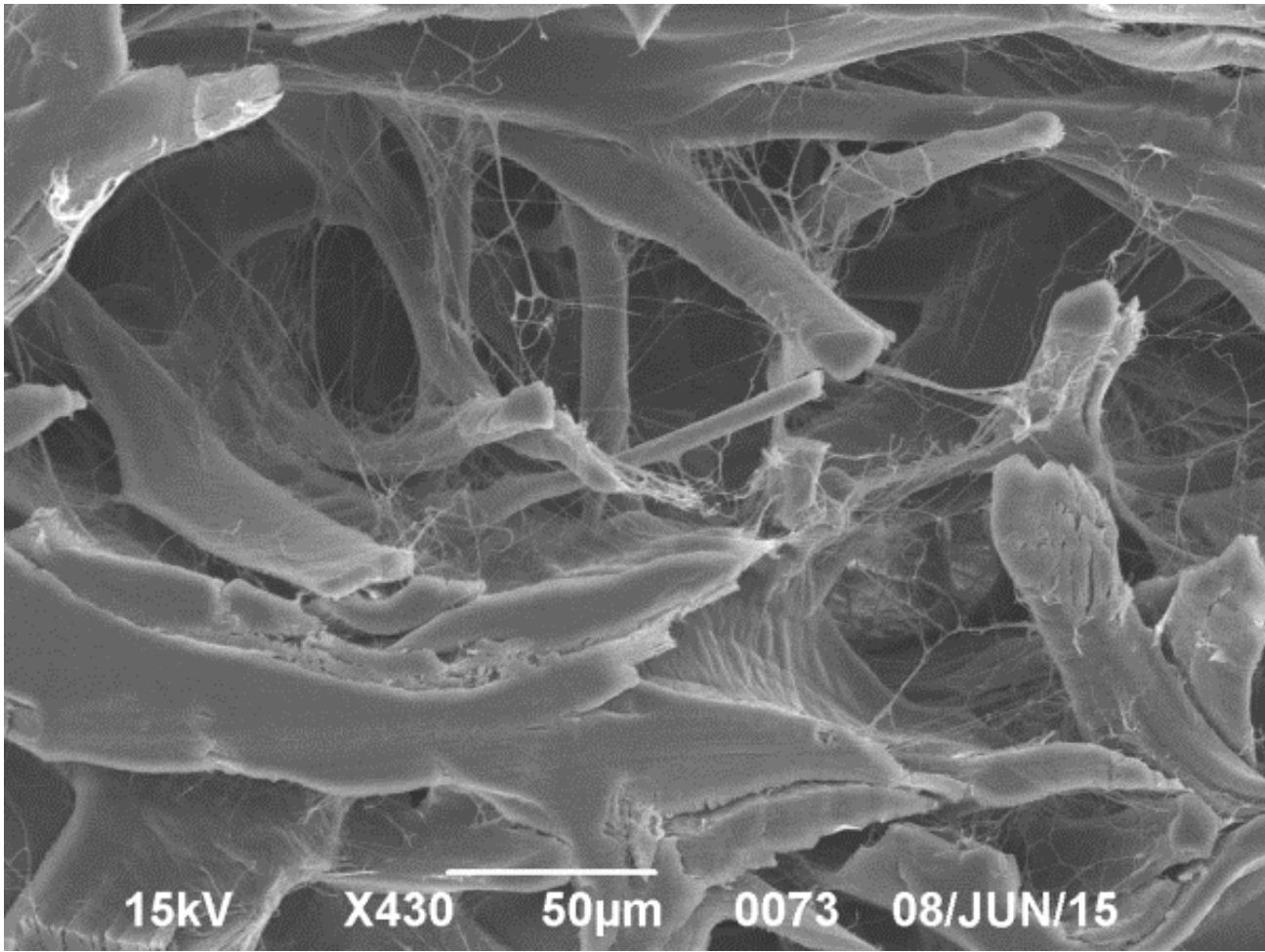
А



Б



В



Г

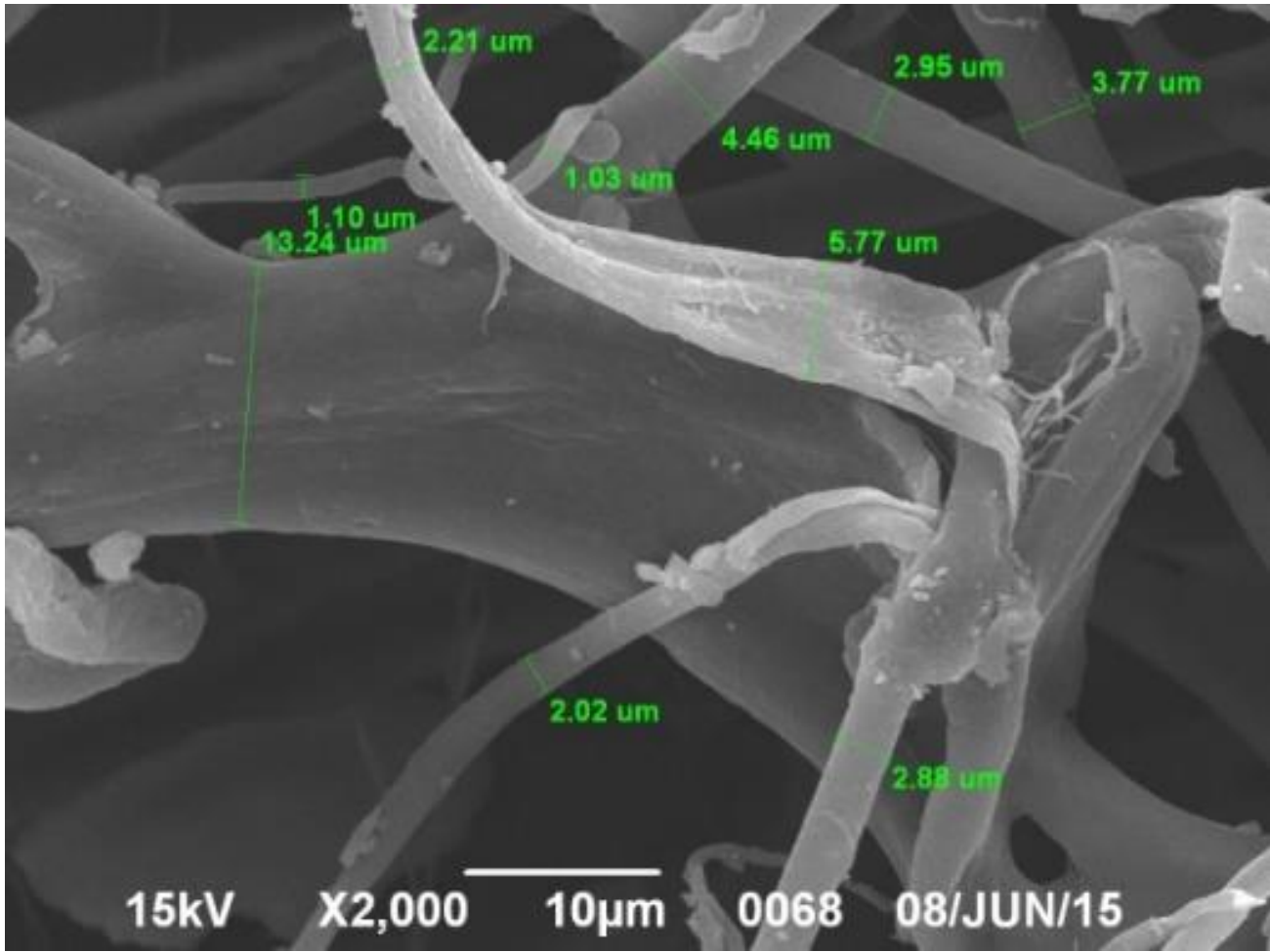
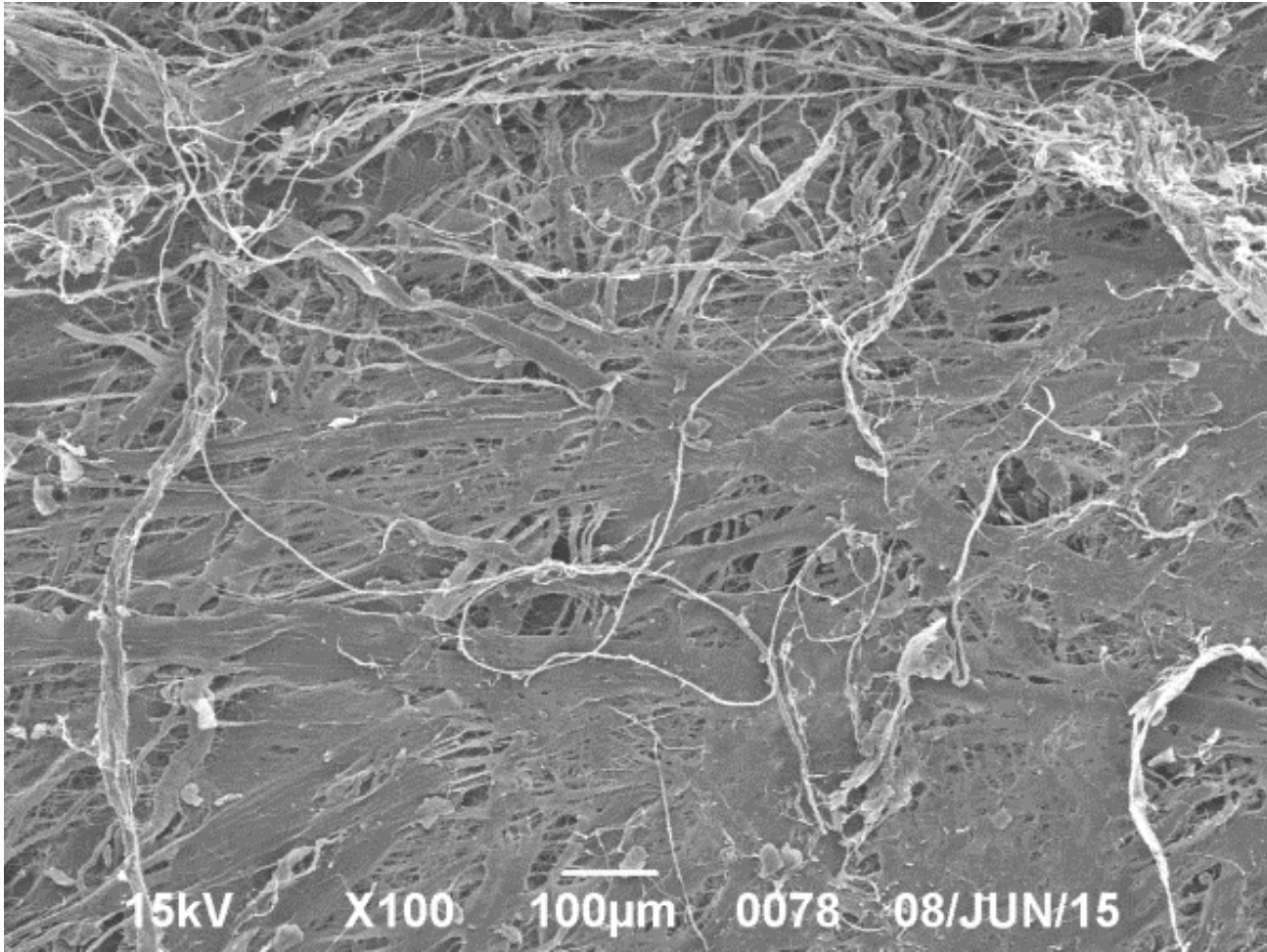
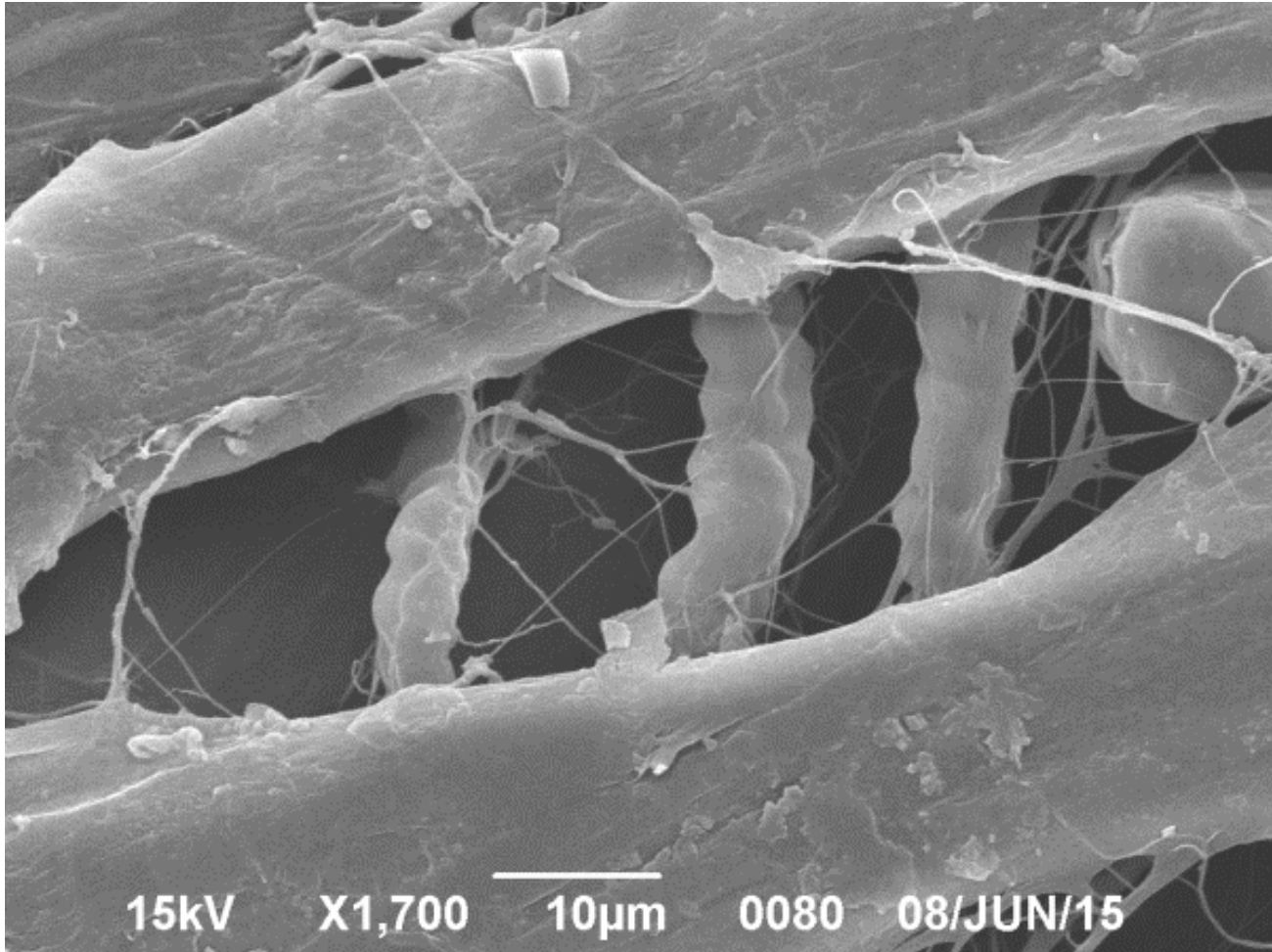


Рисунок 7 - Результаты СЭМ материала Lyorplant: а, б – поверхность; в, г – срез.

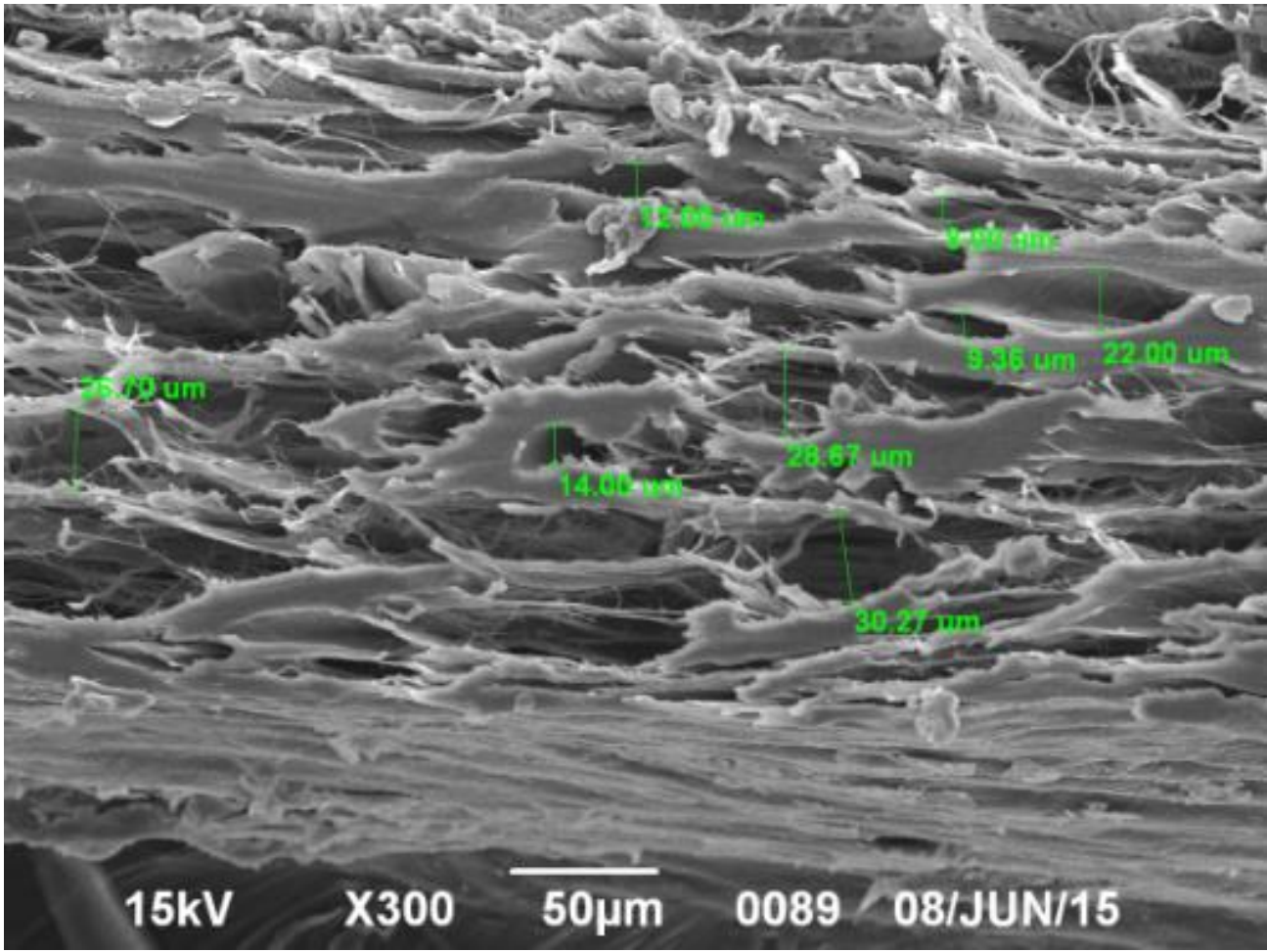
А



Б



В



Г

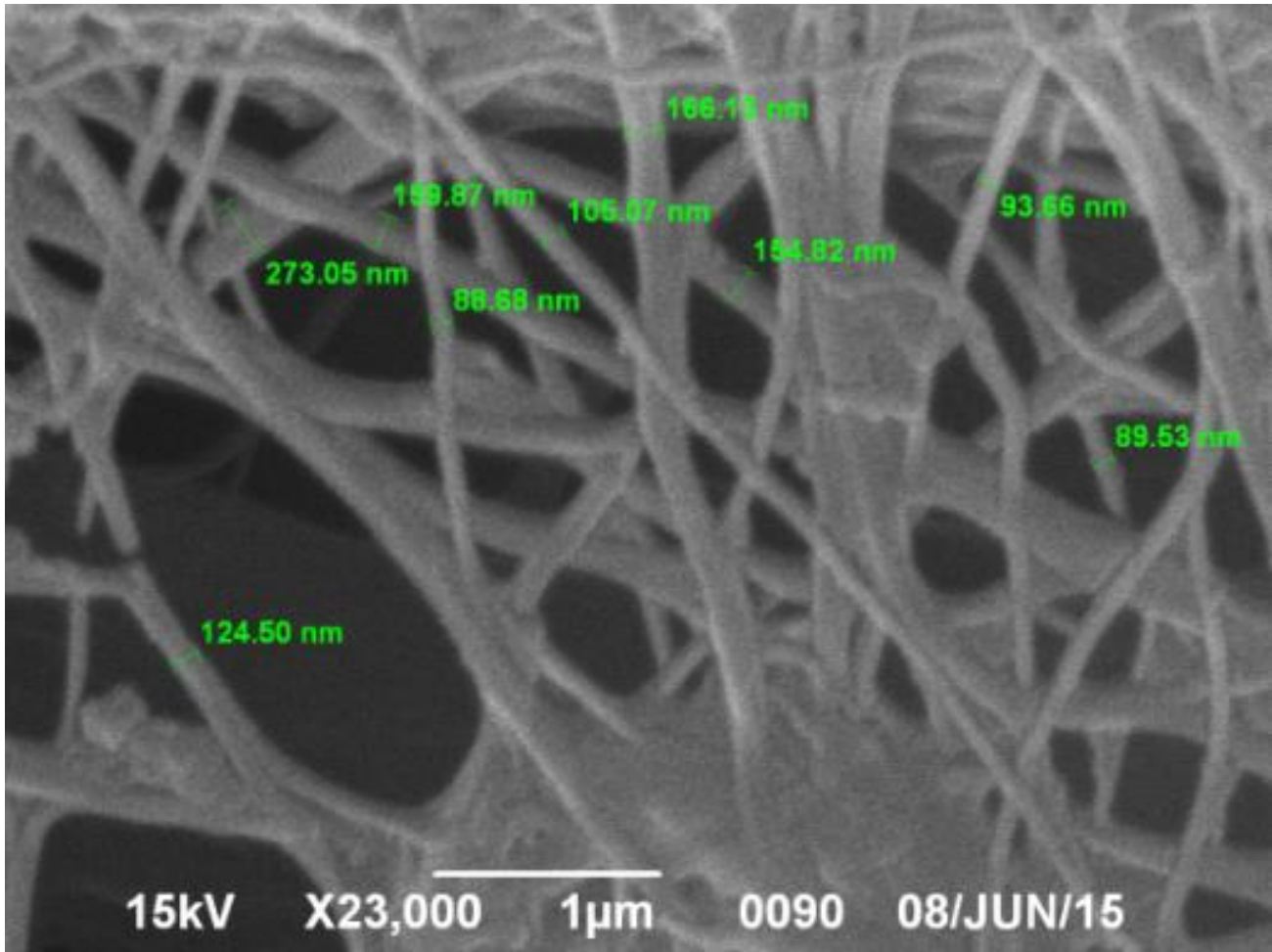
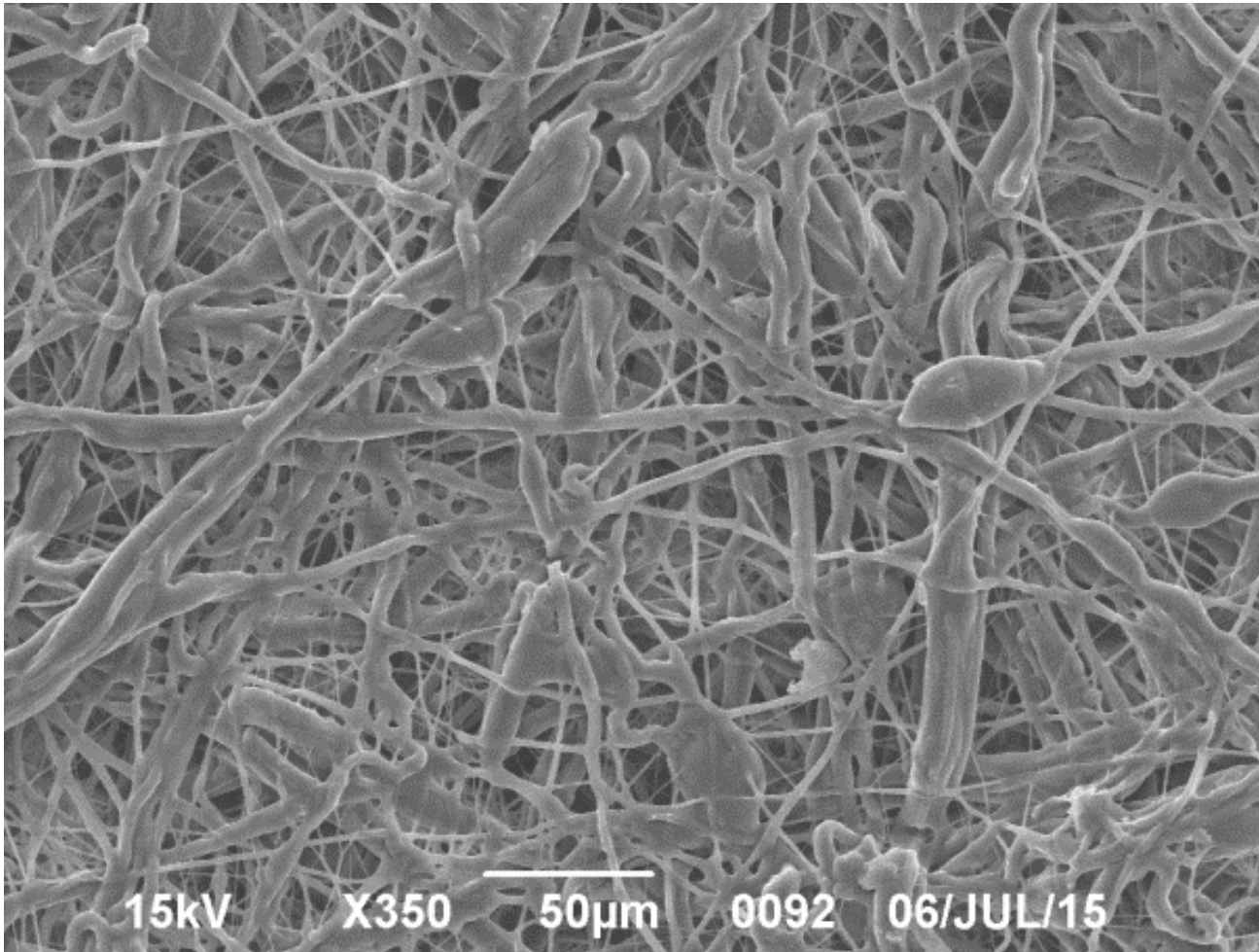
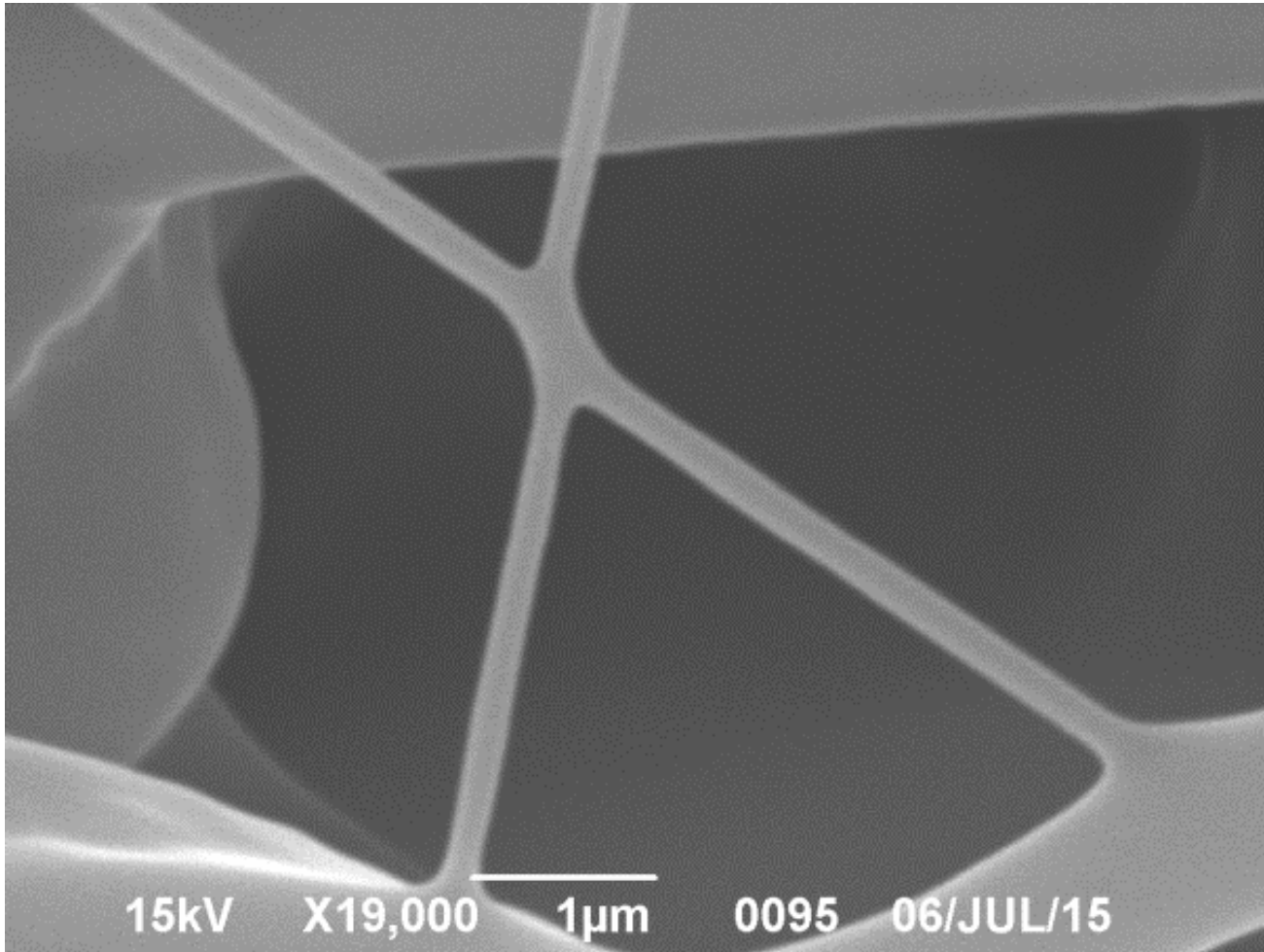


Рисунок 8 – Результаты СЭМ материала Neuropatch: а, б – поверхность; в, г – срез.

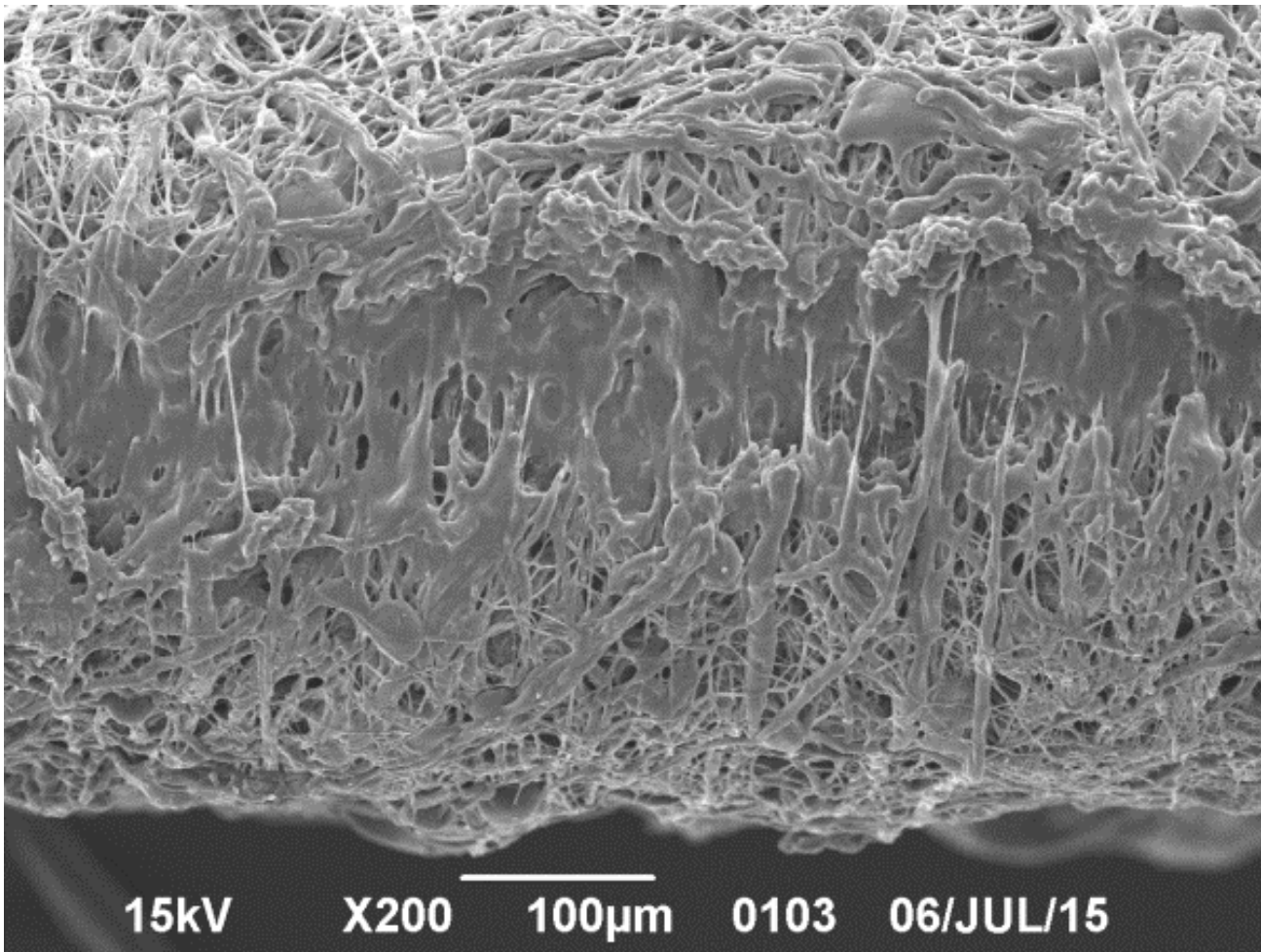
А



Б



В



Г

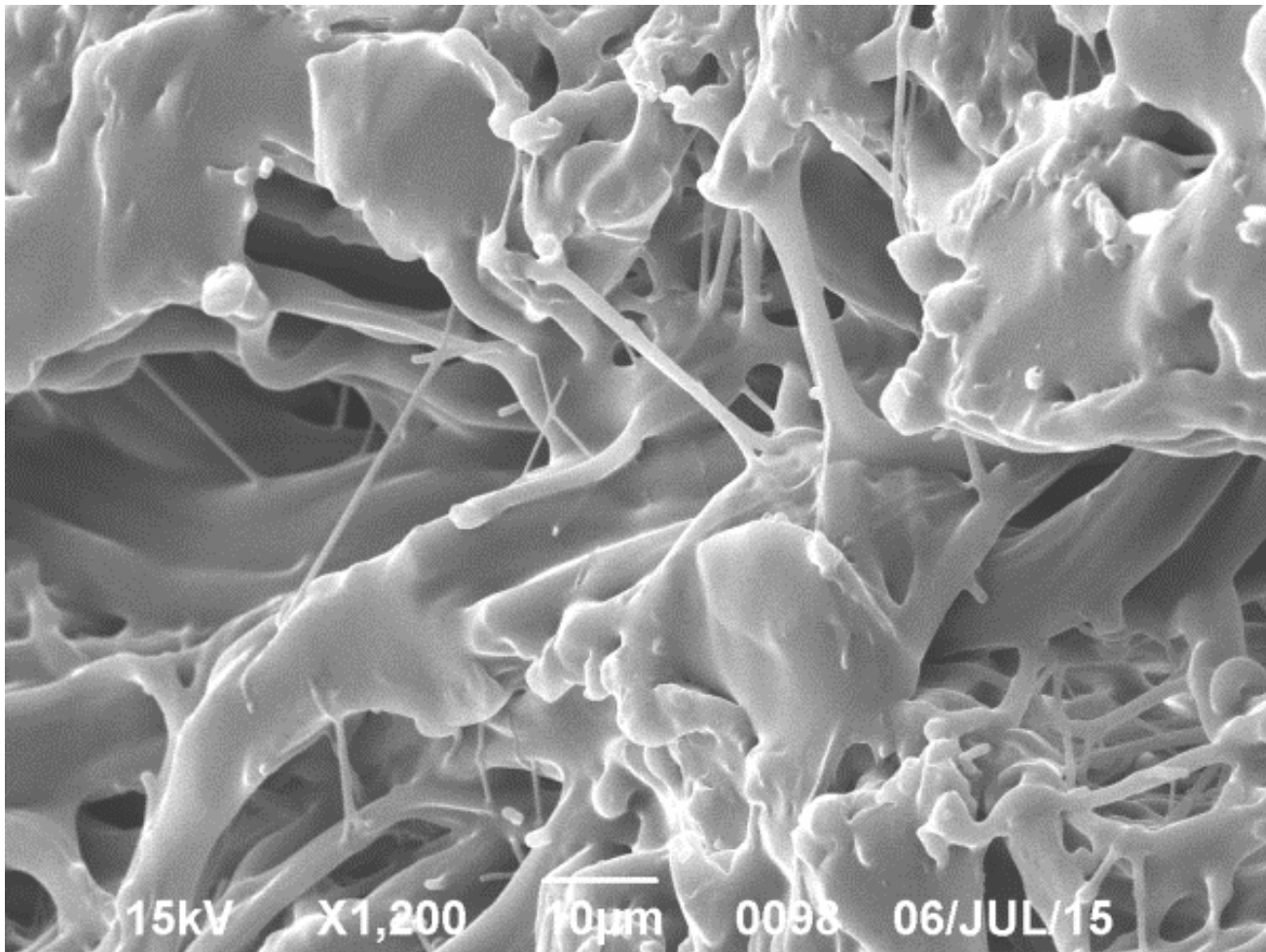
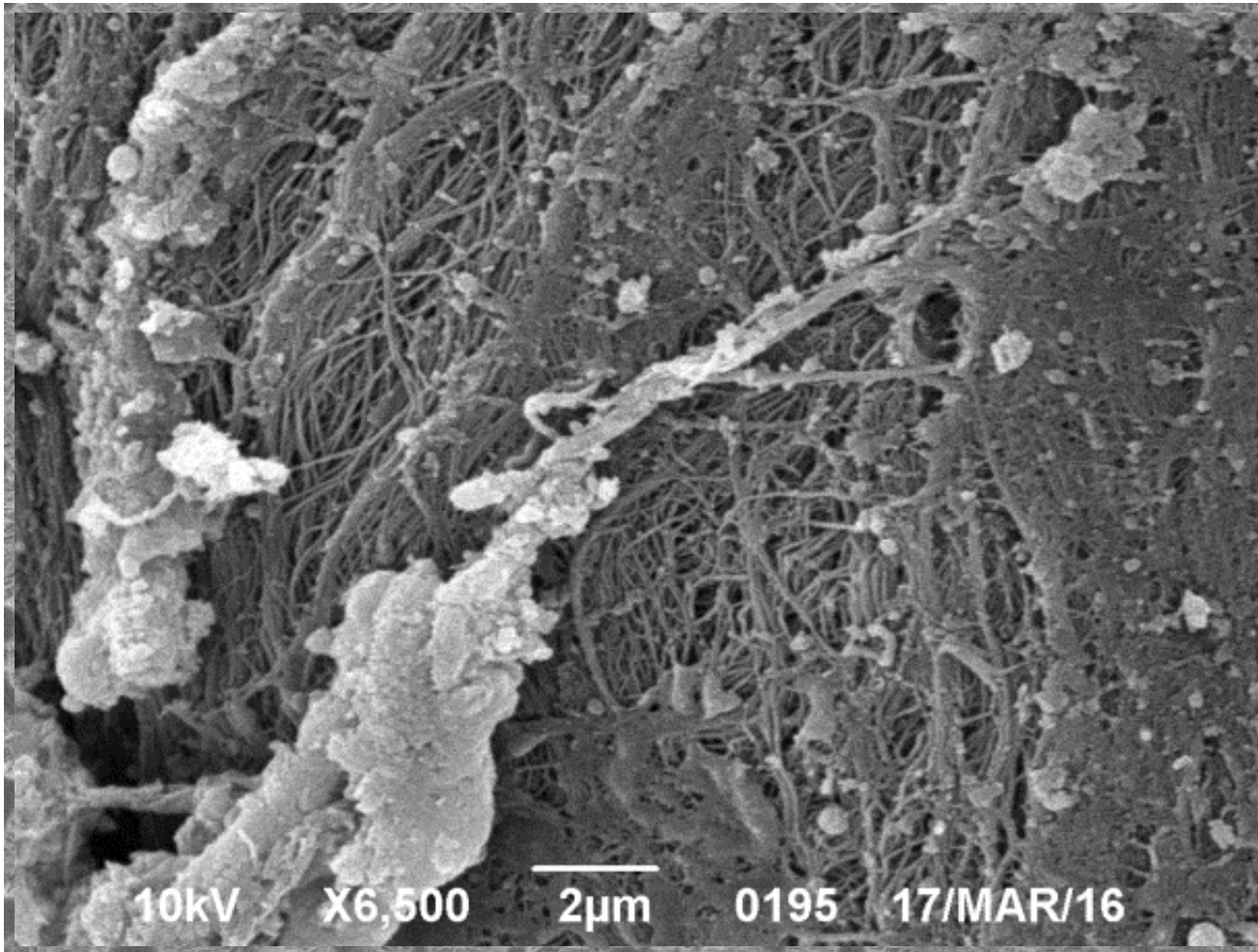
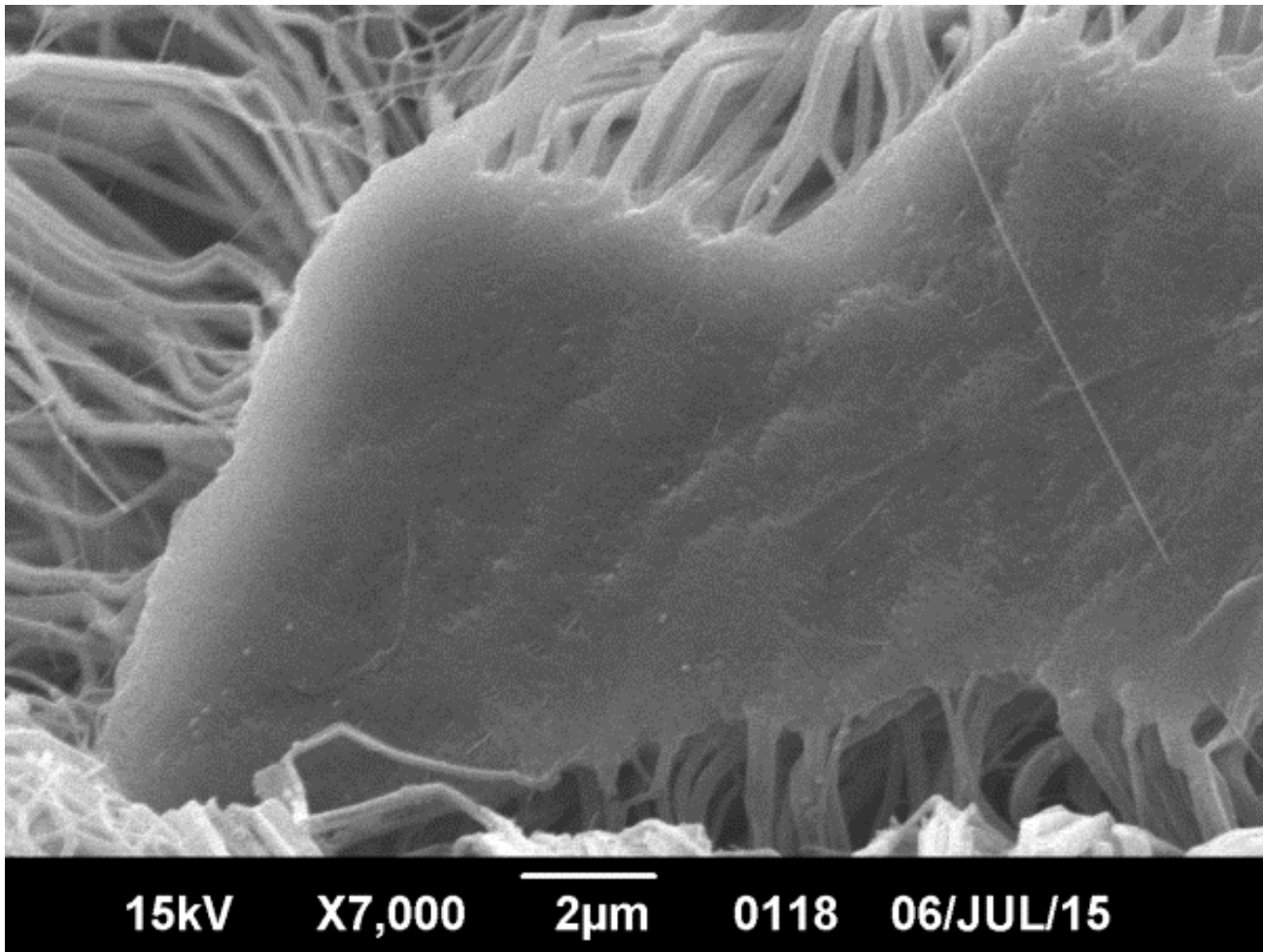


Рисунок 9 – Результаты СЭМ материала Gore Preclude dura substitute: а, б – поверхность; в, г – срез.

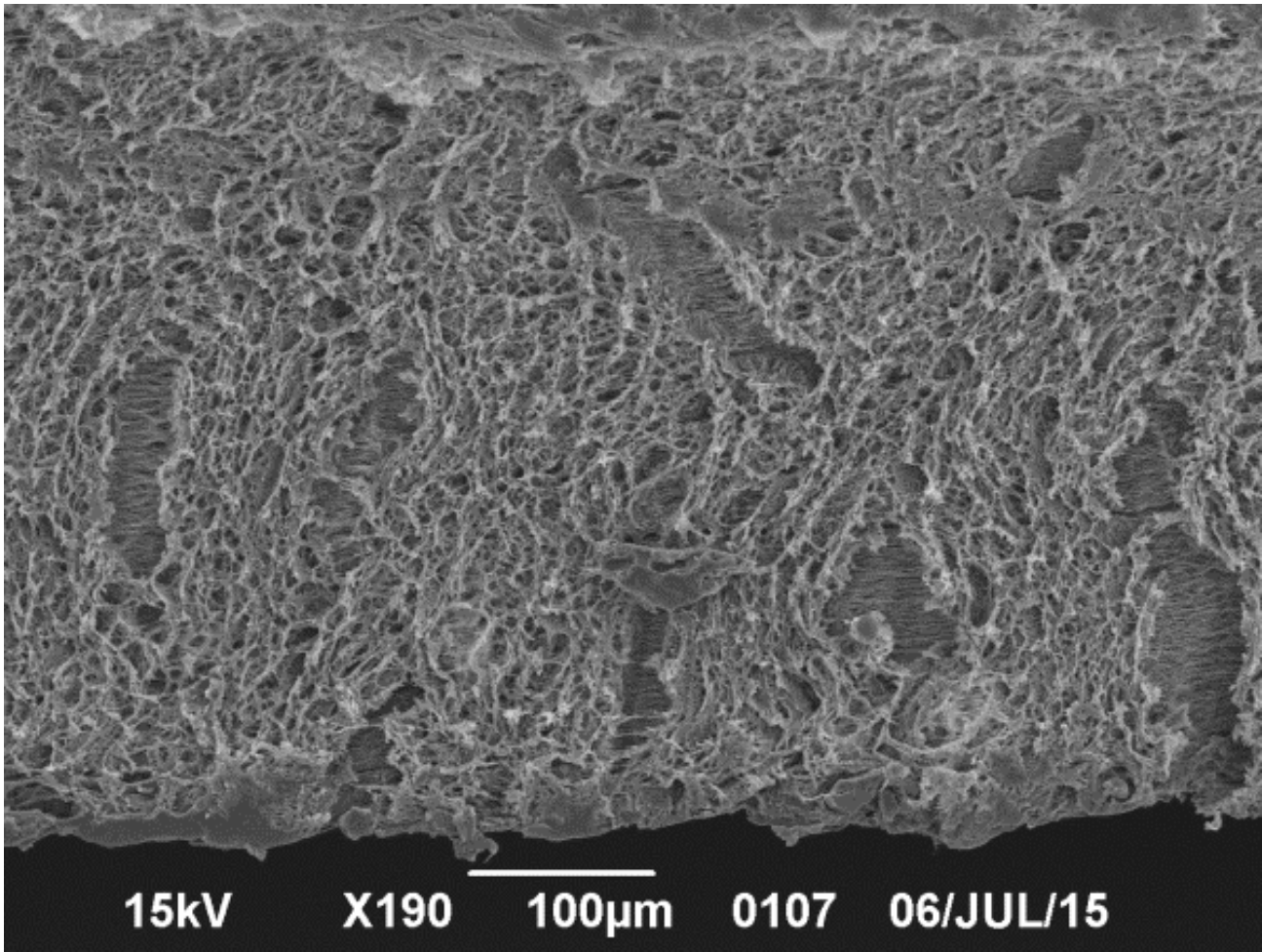
А



Б



В



Г

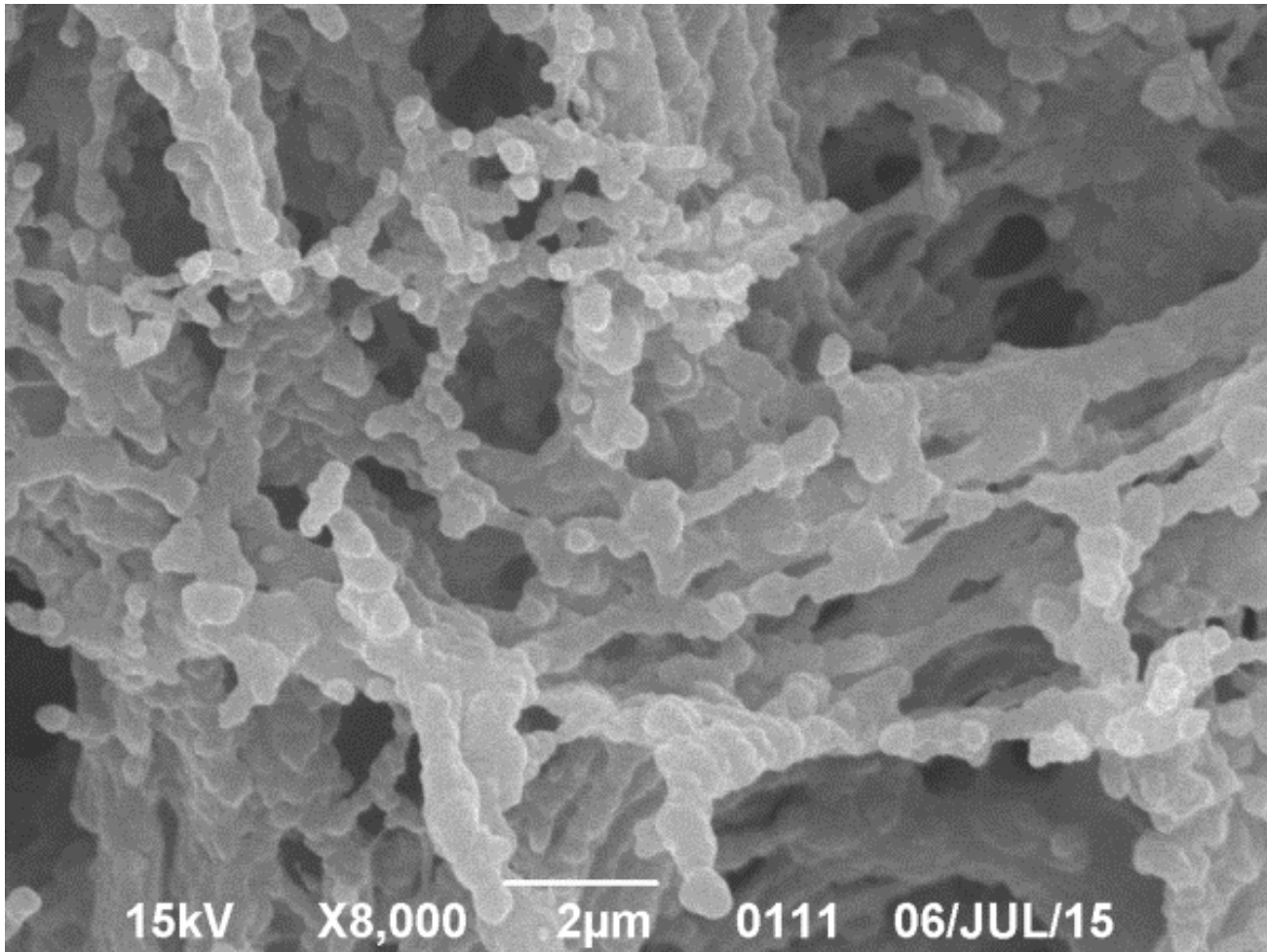
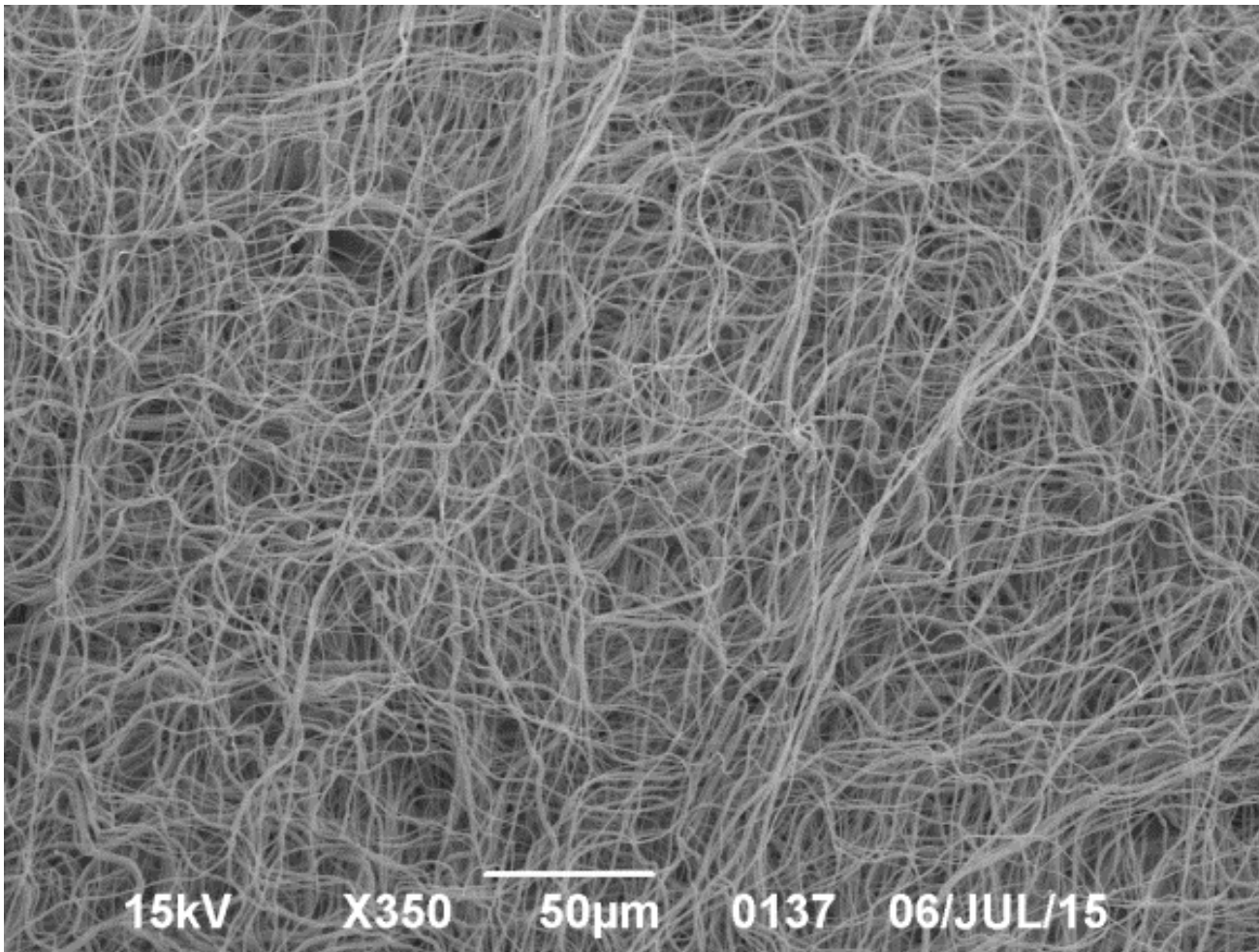
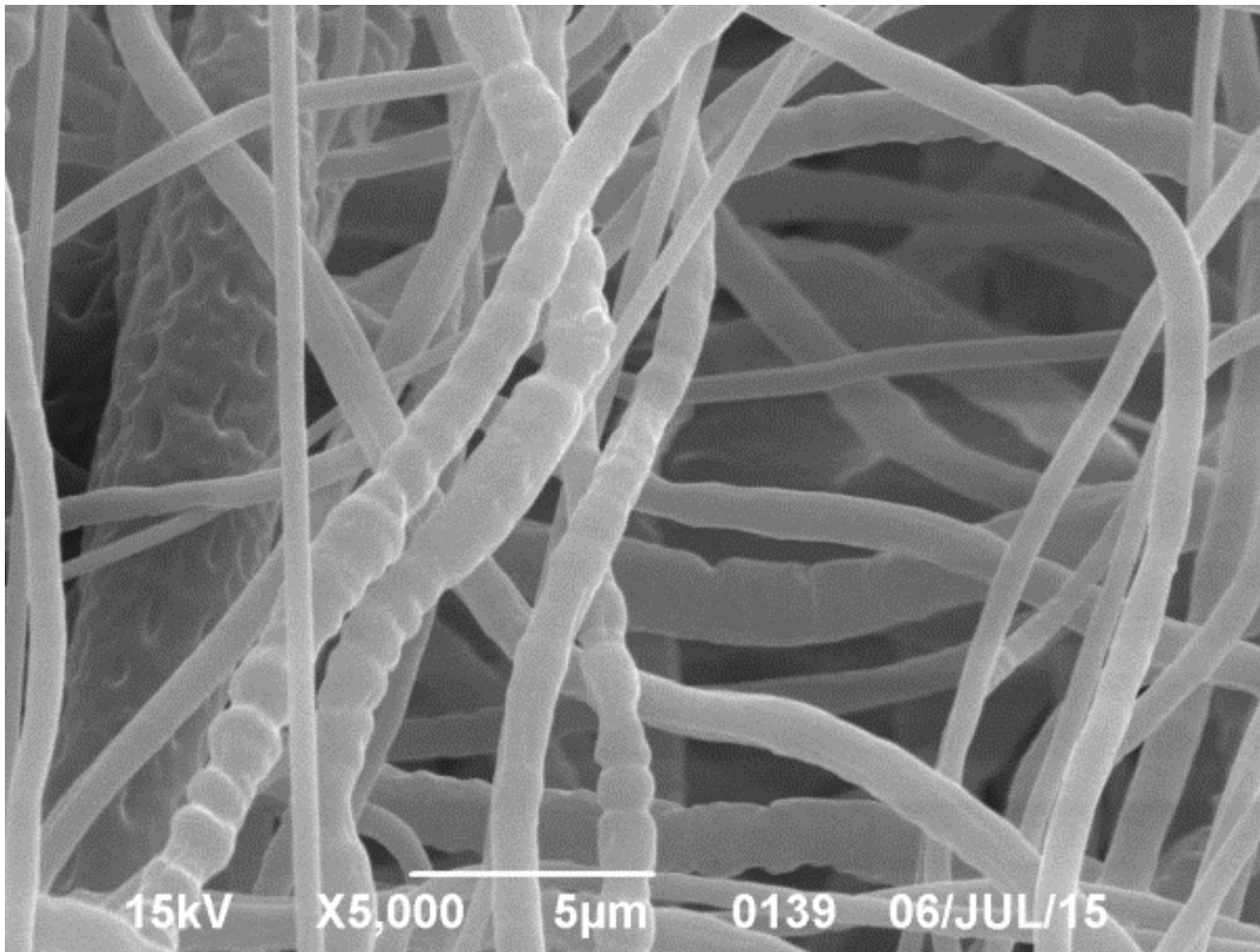


Рисунок 10 – Результаты СЭМ материала Redura: а, б – поверхность; в, г – срез.

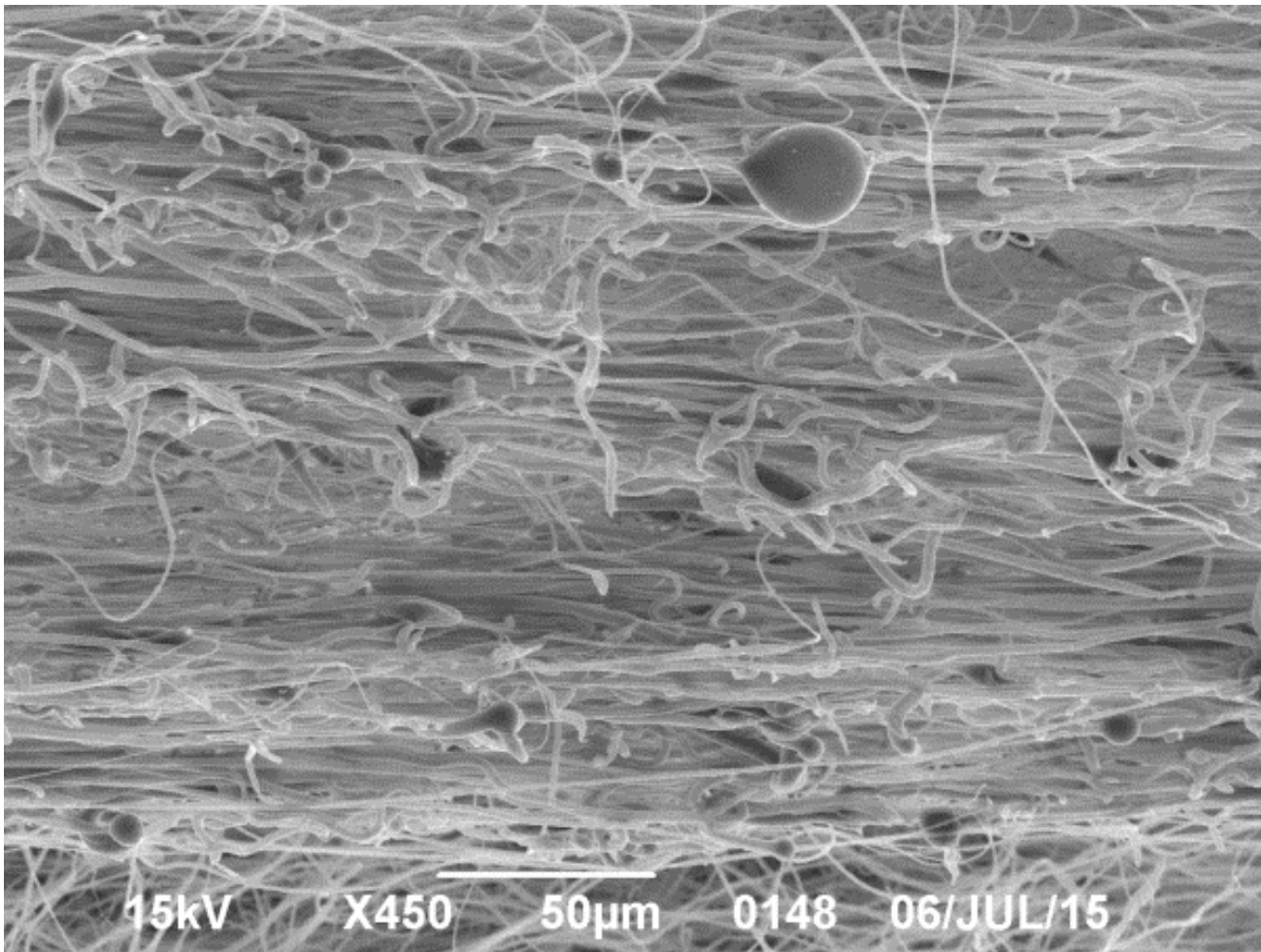
А



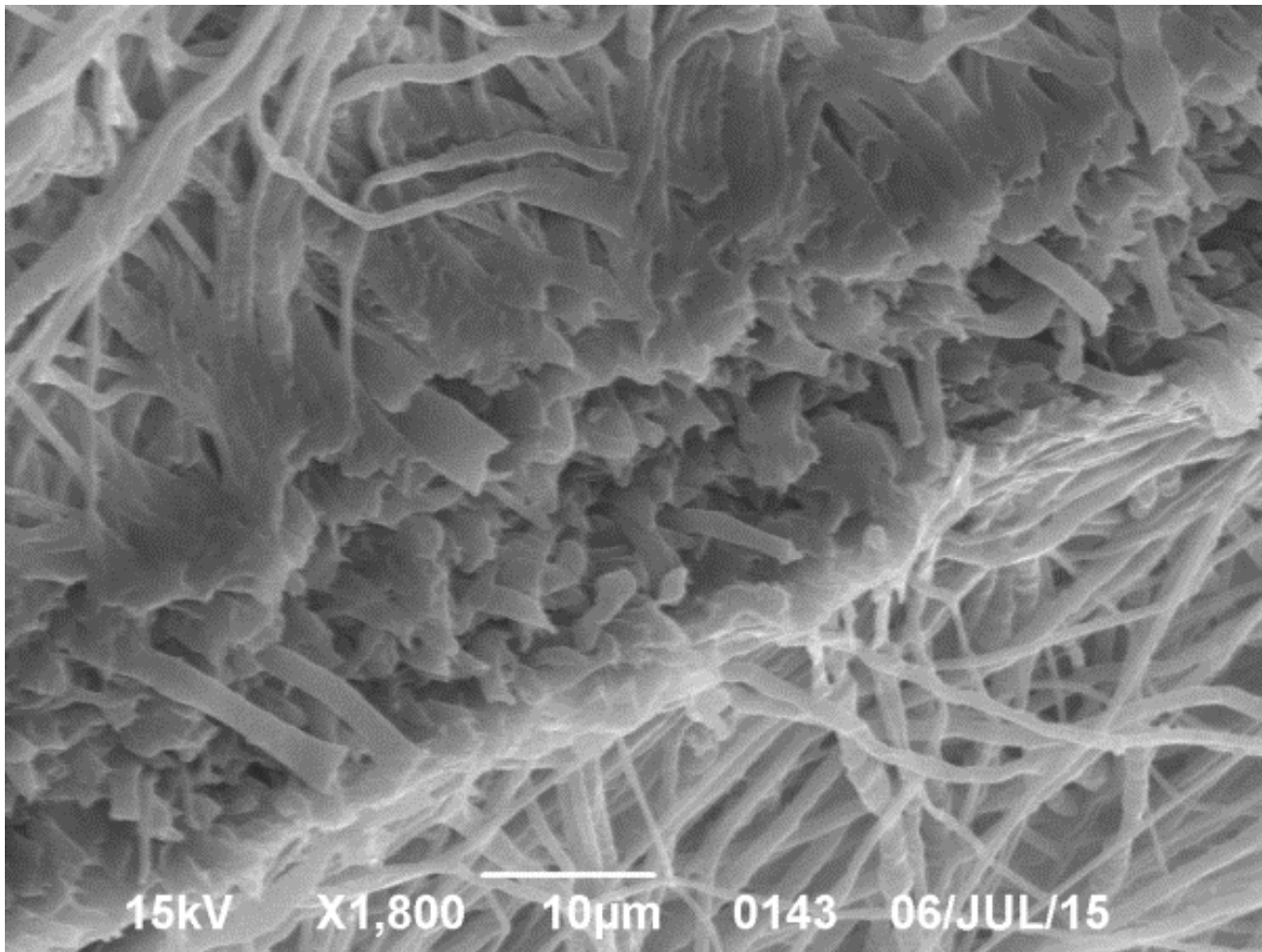
Б



В



Г



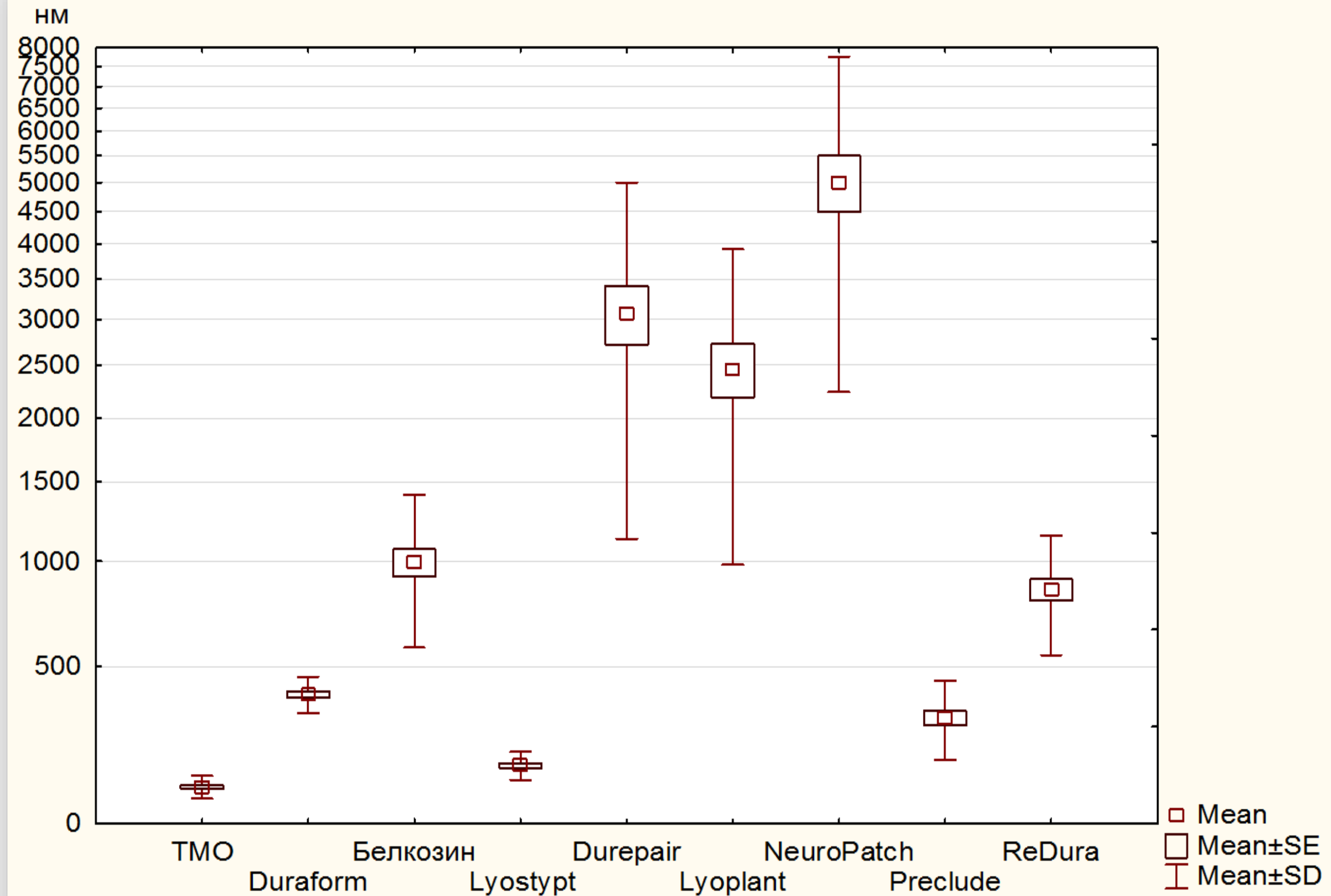


Рисунок 11 - Толщина волокон в образцах (n=30 в каждом материале).

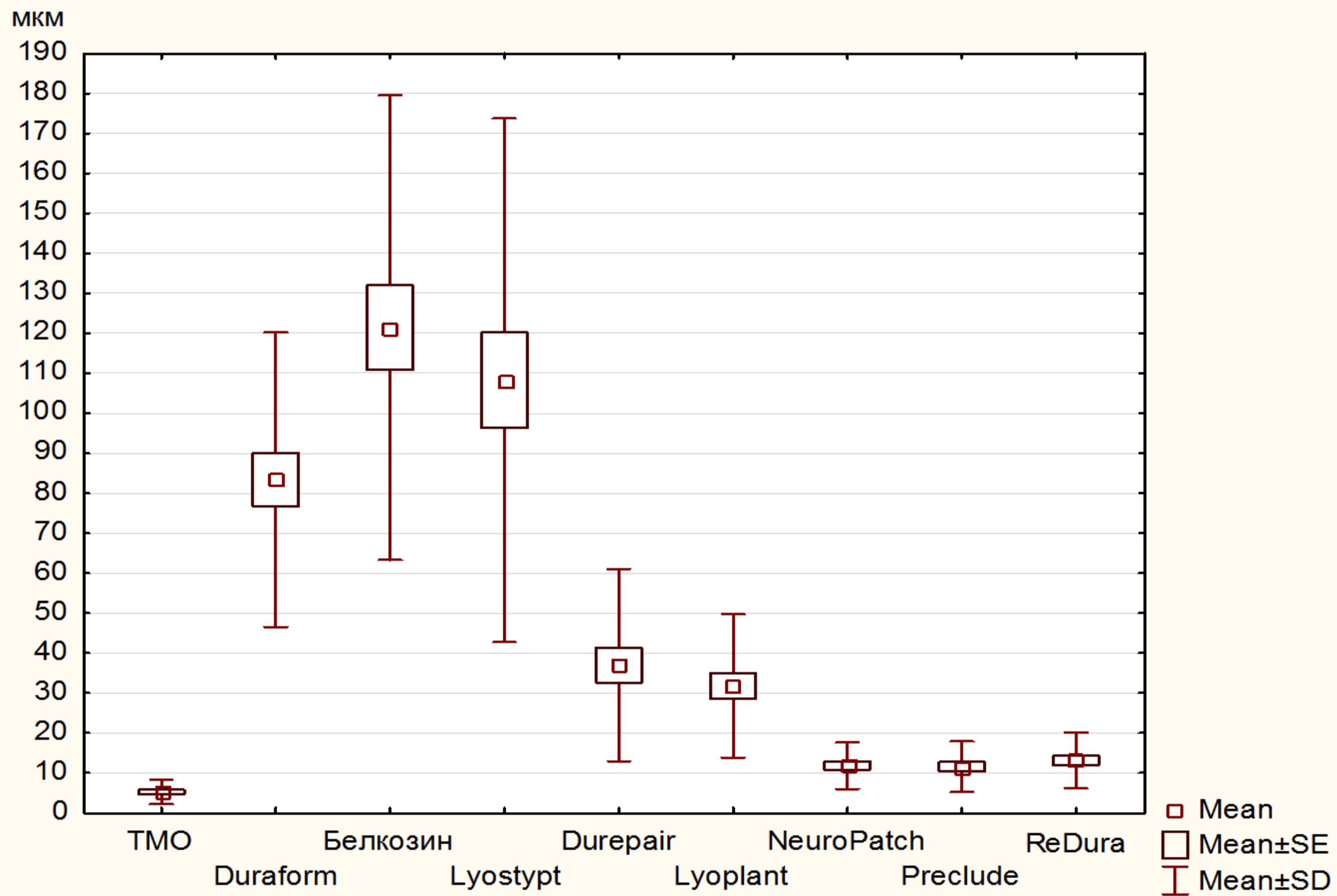


Рисунок 12 - Расстояние между волокнами в образцах (n=30 в каждом материале).

Таблица 2 – Искусственные заменители ТМО, исследованные с помощью СЭМ

Материал	Структура	Преимущественная ориентация волокон относительно доминантной плоскости	Толщина волокон $M \pm \sigma$ (нм)	Расстояние между волокнами $M \pm \sigma$ (мкм)
ТМО человека	волокнистая	параллельное	96,47±31,29	5,27±3,07
Duraform	ячеистая	хаотичное	393,1±66,95*	83,37±36,79*
Белкозин	ячеистая	параллельное	993,9±415,97*	121,4±58,13*
Lyostypt	волокнистая	хаотичное	157,87±41,9*	108,23±65,47*
Durepair	волокнистая	параллельное	3064,4±1935,14*	37,03±24,03*
Lyoplant	волокнистая	параллельное	2449,77±1470,53*	31,83±17,91*
Neuropatch	волокнистая	перпендикулярное	4992,43±2759,24*	11,87±5,83*
Gore Preclude dura substitute	волокнистая	перпендикулярное	309,67±134,76*	11,6±6,29*
ReDura	волокнистая	параллельное	848,43±300,84*	13,17±7,01*

Примечание: * $p < 0,0001$ – значимость, по сравнению с человеческой ТМО

Выводы

- Полученные результаты СЭМ свидетельствуют о высокой эффективности данного метода в исследовании ультраструктуры ТМО и её заменителей.
- Результаты проведенного исследования служат инициирующим фактором для создания математической модели ТМО и развития 3D-биопечати в области изготовления искусственных заменителей ТМО с заданными параметрами и поиска гидрогелей как внеклеточного матрикса для регенеративной медицины.

Дальнейшие перспективы

