

**Направление:** Науки о материалах

**ФИО соискателя:** Матвеев Михаил Владимирович

**Название работы:** Новые подходы для изучения структуры мембран из оксида графена на микроскопическом и наноразмерном уровнях

**Тип работы:** студенческая работа

**Творческий вклад:** разработка и оптимизация методов количественной характеристики упорядоченности мембран из оксида графена с помощью метода спинового зонда и сканирующей электронной микроскопии, изготовление мембран, определение их функциональных характеристик.

### **Новые подходы для изучения структуры мембран из оксида графена на микроскопическом и наноразмерном уровнях**

Оксид графена это нестехиометрический материал, состоящий из изогнутых графеновых слоев, несущих различные кислородсодержащие группы (карбокисильные, эпоксидные, гидроксильные). Из водной дисперсии оксида графена можно изготовить мембраны, имеющие сложную структуру. Отдельные оксиграфеновые слои объединяются в ламели, толщиной порядка 15-30 слоев, ламели формируют мембрану. Среднее расстояние между ламелями, исходя из микрофотографий СЭМ, составляет порядка 10-100 нм, в то время как расстояние между слоями внутри ламели составляет около 10 ангстрем, поэтому отдельные оксиграфеновые слои не видны на микрофотографиях СЭМ. Интерес к мембранам из оксида графена обусловлен их уникальной избирательной селективностью. Так, проницаемость воды на несколько порядка превышает проницаемость других полярных жидкостей. Однако, механизм селективной проницаемости на настоящий момент остается неясным. Судя по литературным данным, одним из факторов, определяющим проницаемость мембран, является их ориентационная упорядоченность, включающая упорядоченность слоев и ламелей.

В рамках настоящей работы было разработано два подхода, позволяющих изучать строение и упорядоченность мембран на разных уровнях. Первый метод основан на количественном анализе микрофотографий СЭМ с использованием машинного обучения для предобработки изображений. Анализ изображений дает информацию об ориентационной упорядоченности ламелей в мембране, равномерности их упорядоченности, а также о характерном размере неоднородностей, таких как изгиб ламелей – все это позволяет изучать структуру мембраны на микроскопическом уровне. Второй подход, основанный на методе спинового зонда, более чувствителен к структуре слоев мембраны на наноразмерном уровне – их степени изгиба и упорядоченности. Стабильный нитроксильный радикал сорбируется на внутренней поверхности оксиграфеновых слоев и отражает их ориентационную упорядоченность, которую можно определить по угловой зависимости спектров ЭПР мембраны. В ходе работы был подобран спиновый зонд, наиболее хорошо отражающий упорядоченность оксиграфеновых слоев. Предложенные методы дополняют друг друга, поскольку упорядоченность зонда в мембране является конволюцией упорядоченности зонда в слое, слоя в ламели и ламели в мембране. Последний член – упорядоченности ламелей в мембране – может быть независимо определен с помощью анализа изображений СЭМ, что позволяет изучать и характеризовать строение мембран как на уровне слоев, так и на уровне ламелей. Предложенные методы были применены к ряду мембран, имеющих различную синтетическую предысторию.

Эксперименты показали, что менее упорядоченные мембраны лучше сорбируют ацетонитрил из газовой фазы, в то время как сорбция воды от упорядоченности зависит слабо.