


УТВЕРЖДАЮ

Директор  
(должность)

Института Химии СПбГУ

 /И.А. Балова/  
(подпись) (инициалы, фамилия)

« 13 » 03 2024 г.

М.П.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

По итогам рассмотрения и обсуждения  
диссертации Тимошена Кирилла Александровича  
(*ф.и.о. соискателя ученой степени*)

представленной на соискание ученой степени  
кандидата химических наук

(*Ученная степень*)

по теме Пленки фуллерена C<sub>60</sub> и его производных на границе жидкость - газ  
(*тема диссертации*)

по научной специальности 1.4.10. Коллоидная химия

(*шифр и наименование научной специальности (научных специальностей)*)

и выполненной в Санкт-Петербургском государственном университете в 2024 г.

(*наименование организации и год представления*)

а также представленных соискателем научных публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, приняты следующие решения, замечания и рекомендации:

Кандидатская диссертация «Пленки фуллерена C<sub>60</sub> и его производных на границе жидкость – газ» выполнена на кафедре коллоидной химии Института химии Санкт-Петербургского государственного университета. В период подготовки диссертации соискатель Тимошен Кирилл Александрович обучался в аспирантуре Института Химии Санкт-Петербургского государственного университета. Научным руководителем кандидатской диссертации является доктор химических наук, профессор кафедры коллоидной химии Института Химии СПбГУ Носков Борис Анатольевич. Диссертационное исследование Тимошена К.А. направлено на определение свойств свойствах водных систем, содержащих фуллерен C<sub>60</sub> и его производные, и на создание тонких, стабильных и однородных пленок на поверхности жидкости в этих системах. Впервые определены свойства и морфология адсорбционных пленок карбоксилированного и полигидроксилированных производных фуллерена C<sub>60</sub>, его смешанных пленок с амфифильными полимерами, а также нанесенных пленок микростержней и микротрубок фуллерена C<sub>60</sub> на водной поверхности. Для этой цели впервые был использован комплекс экспериментальных методов, включающий методы поверхностной тензиометрии, дилатационной поверхностной реологии, эллипсометрию и различные виды микроскопии: микроскопию при угле Брюстера, атомно-силовая микроскопию, сканирующая электронную микроскопию, просвечивающую электронную микроскопию. В диссертационной работе показано, что, хотя адсорбционные пленки исследованных

производных фуллеренов макроскопически однородны, они состоят из связанных между собой наноагрегатов, что обеспечивает аномально высокую динамическую поверхностную упругость. Высокая устойчивость слоя чистого фуллерена при высоких поверхностных давлениях обеспечивается гидроксигированием молекул фуллерена, контактирующих с водой. Полученные результаты позволяют оценить механизм переноса фуллерена и его производных в биологических системах, и, тем самым, эффективность препаратов на основе фуллерена. Полученные поверхностные пленки производных фуллеренов на водной поверхности могут быть использованы при создании регулярных пленок Ленгмюра – Блоджетт заданной толщины для оптических устройств.

Диссертация К.А. Тимошена содержит ряд принципиально новых, практически и теоретически значимых результатов, вытекающих из детального экспериментального исследования тонких пленок, содержащих фуллерен  $C_{60}$ , на водной поверхности:

1. Обнаружено, что несмотря на относительно низкую поверхностную активность фуллеренол  $C_{60}(OH)_{30}$  образует на водной поверхности макроскопически однородный адсорбционный слой с высокой динамической поверхностной упругостью. Поверхностные свойства растворов этого фуллеренола качественно близки к свойствам дисперсий твердых наночастиц. В то же время адсорбционный слой на микроскопически неоднороден и содержит поверхностные микроагрегаты, состоящие из двух-трех слоев молекул фуллеренола. Эти агрегаты не адсорбируются из объемной фазы, а образуются непосредственно в поверхностном слое.

2. Фуллеренол  $C_{60}(OH)_{20}$  также образует макроскопически однородный слой на границе раствор-воздух. Поверхностная упругость растворов  $C_{60}(OH)_{20}$  оказывается значительно выше, чем у растворов  $C_{60}(OH)_{30}$ , и адсорбционный слой оказывается более хрупким, но также содержит микроскопические поверхностные агрегаты.

3. Показано, что поверхностная активность карбоксифуллерена близка к результатам для стандартных поверхностно-активных веществ и значительно превышает поверхностную активность фуллеренолов. Адсорбционный слой карбоксифуллерена менее хрупок, чем адсорбционные слои фуллеренолов, и в отличие от них имеет жидкоподобную природу. В то же время адсорбционный слой карбоксифуллерена также содержит поверхностные агрегаты, размеры и концентрация которых увеличиваются в процессе адсорбции.

4. Установлено, что свойства нанесенных пленок немодифицированного фуллерена  $C_{60}$  на водной поверхности указывают на его сильную адгезию к воде. Динамическая упругость пленок достигает очень высоких значений (около 370 мН/м) при поверхностных давлениях, близких к 25 мН/м. Толщина нанесенного слоя фуллерена  $C_{60}$  меняется от точки к точке. В первую очередь образуются бислои или трислои, но при увеличении поверхностного давления могут образовываться поверхностные агрегаты размером до 100 нм в Z-направлении.

5. Показано, что зависимости динамической упругости от поверхностного давления смешанных нанесенных пленок  $C_{60}$  с амфифильными полимерами ПВП и ПНИПАМ имеют два локальных максимума, первый из которых определяется полимером. В области второго максимума полимер слабо влияет на поверхностную упругость, и поверхностные свойства определяются в основном фуллереном.

6. Показано, что свойства нанесенных пленок фуллерена и смесей фуллерена с амфифильными полимерами при высоких поверхностных давлениях обусловлены сильной адгезией этих пленок к воде, что связано с гидроксигированием слоя фуллерена, непосредственно прилегающего к воде.

7. Обнаружено, что свойства нанесенных слоев нанотрубок фуллерена на водной поверхности сильно отличаются от свойств фуллерена, нанесенного из

раствора в толуоле. В первом случае на изотермах сжатия возникает область плато, соответствующая двумерному фазовому переходу.

Диссертация соответствует научной специальности 1.4.10. Коллоидная химия. Все результаты получены соискателем лично. Достоверность полученных результатов диссертации обусловлена корректной постановкой экспериментов и тщательной обработкой полученных данных. Работа прошла широкую апробацию. Результаты диссертационной работы опубликованы в международных журналах с высоким импакт-фактором, относящихся к Q1, и докладывались на всероссийских и международных конференциях. Опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации.

Нарушения со стороны Тимошена Кирилла Александровича

ФИО соискателя

п. 11 Приказа СПбГУ от «19» ноября 2021 г. №11181/1 не выявлены

не выявлены, выявлены

и Приказа СПбГУ от 03.07.2023 № 9287/1 не выявлены.

не выявлены, выявлены

Все основные выносимые на защиту научные материалы диссертации опубликованы в предложенных соискателем статьях.

**Коллектив сотрудников** Кафедры коллоидной химии Института Химии СПбГУ

наименование подразделения

рекомендовал

рекомендовал / не рекомендовал / рекомендовал при условии устранения замечаний

**диссертацию** Тимошена Кирилла Александровича

фио соискателя

**по теме** Пленки фуллерена C60 и его производных на границе жидкость - газ

тема диссертации

**к защите на соискание ученой степени** кандидата химических наук

ученая степень

**по научной специальности** 1.4.10. – Коллоидная химия

шифр и наименование научной специальности (научных специальностей)

При проведении голосования коллектива сотрудников подразделения (протокол заседания № 43/6/3-02-1 от 22.02.2024 г.) в количестве 9 человек, участвовавших в заседании из 10 человек штатного состава:

Проголосовали «за»: 9,

«против»: нет,

«воздержались»: нет.

Подписал: профессор с возложением исполнения обязанностей заведующего кафедрой

(должность)

Кафедра коллоидной химии

(наименование структурного подразделения)

Доктор химических наук

(ученая степень)

Профессор, академик РАН

(ученое звание)



А.И. Русанов

Расшифровка  
подписи, дата

