



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИХФ РАН,

академик РАН

Берлин А.А.

«26» мая 2016 г.

ВЫПИСКА

ИЗ ПРОТОКОЛА

заседания расширенного межлабораторного семинара

Отдела динамики химических и биологических процессов

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук

от 19 мая 2016 г.

Председатель семинара: заведующий отделом динамики химических и биологических процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ИХФ РАН), д.х.н., проф. Иванов В.Б.

Секретарь семинара: научный сотрудник ИХФ РАН Староверова О.В.

Присутствовали: д.х.н., проф., зав.лаб. Касаикина О.Т., д.х.н., проф., зав.лаб. Иорданский А.Л., д.х.н., проф., зав.лаб. Гумаргалиева К.З., д.х.н., в.н.с. Писаренко Л.М., к.ф.-м.н., н.с. Рубцова Н.А., к.х.н., н.с. Кучеренко Е.Л., к.б.н., с.н.с. Апашева Л.М., д.х.н., проф., зав.лаб. Комиссаров Г.Г., к.т.н., доц., с.н.с. Ольхов А.А., к.х.н., с.н.с. Овчаренко Е.Н., к.х.н., с.н.с. Маркин В.С., к.х.н., с.н.с. Косенко Р.Ю., д.ф.-м.н., в.н.с. Илатовский В.А., д.ф.-м.н., проф., г.н.с. Николаев Е.Н., д.т.н., с.н.с. Цаплиев Ю.Б., д.ф.-м.н., в.н.с. Мотякин М.В.,

к.ф.-м.н., с.н.с. Птицын Г.А., д.х.н., проф., зав.лаб. Попов А.А., д.х.н., проф.,
в.н.с. Шибряева Л.С.

Всего: 21 человек.

Повестка заседания: Обсуждение диссертационной работы Лобанова Антона Валерьевича «Молекулярная агрегация и фотохимические свойства тетрапирролов в многокомпонентных системах» на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

Слушали: доклад старшего научного сотрудника лаборатории фотобионики ИХФ РАН Лобанова Антона Валерьевича по диссертационной работе «Молекулярная агрегация и фотохимические свойства тетрапирролов в многокомпонентных системах».

Постановили: Рекомендовать диссертацию Лобанова А.В. к защите на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия и принять заключение по итогам обсуждения доклада «Молекулярная агрегация и фотохимические свойства тетрапирролов в многокомпонентных системах».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук
(ИХФ РАН)

Диссертационная работа «Молекулярная агрегация и фотохимические свойства тетрапирролов в многокомпонентных системах» выполнена в лаборатории фотобионики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук. Научным консультантом назначен заведующий кафедрой химической кинетики Химического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Заслуженный деятель науки РФ, доктор химических наук по специальности 02.00.15 – химическая кинетика и катализ, профессор Мельников Михаил Яковлевич (протокол №4 заседания Ученого совета ИХФ РАН от 19.06.2014 г.).

В период работы над диссертацией Лобанов Антон Валерьевич работал в должности старшего научного сотрудника в лаборатории фотобионики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук.

В 2001 г. Лобанов Антон Валерьевич с отличием окончил магистратуру факультета биотехнологии и органического синтеза Московской государственной академии тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова. С 03.12.2001 г. по 02.12.2004 г. Лобанов А.В. проходил обучение в очной аспирантуре Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук. В 2005 г. в диссертационном совете Д 002.039.01 Лобанов А.В. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук «Фотокаталитические процессы с участием пероксида водорода в природных и искусственных фотосинтезирующих системах» по специальности 03.00.02 – биофизика.

Рецензент: д.х.н., проф. Касаикина О.Т., заведующий лабораторией жидкофазного окисления Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук.

В обсуждении работы участвовали:

д.х.н., проф. Касаикина О.Т.

д.х.н., проф. Иванов В.Б.

д.х.н., проф. Гумаргалиева К.З.

д.х.н., проф. Комиссаров Г.Г.

По докладу были заданы следующие вопросы:

1. д.х.н., проф. Касаикина О.Т.: «Какова природа межмолекулярных сил, обеспечивающих молекулярную агрегацию тетрапирролов?»;
2. д.х.н., проф. Гумаргалиева К.З.: «Как были получены исследованные в работе тетрапирролы и полимерные носители?»;
3. к.б.н. Апашева Л.М.: «Какова биосовместимость полученных в работе многокомпонентных систем на основе тетрапирролов?»;
4. к.т.н., доц. Ольхов А.А.: «Какие структурные фрагменты молекул тетрапирролов на примере фталоцианинов, хлоринов и порфиринов отвечают за образование редких J-агрегатов?»;
5. д.х.н., проф. Иванов В.Б.: «Каким образом были рассчитаны кинетические параметры фотокаталитических процессов с участием тетрапирролов».

На все заданные вопросы докладчиком были даны подробные ответы.

Личное участие соискателя. Личный вклад автора является основным на всех этапах от выбора направлений исследований, формулировки и обоснования цели и конкретных задач работы, выбора путей их решения до непосредственного выполнения основной части экспериментальной работы и осуществления научного руководства проводимыми исследованиями, анализа

и обобщения получаемых результатов, формулировки выводов, подготовки публикаций. Эксперименты с использованием импульсного фотолиза проведены совместно с Н.Б. Сультимовой (ИБХФ РАН). Измерения кругового дихроизма, динамического рассеяния света и получение электронных микрофотографий осуществлялись совместно с М.А. Градовой (ИХФ РАН). Атомно-силовая микроскопия выполнена совместно с Р.В. Гайнутдиновым (ИК РАН). Дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрия проведены совместно с С.М. Мудрецовой (МГУ). Фотодинамические эффекты тетрапирролов на клетках определены совместно с О.О. Ударцевой (ИМБП РАН). Квантово-химические расчеты выполнены совместно с Г.И. Кобзевым (ОГУ, Оренбург) и проф. Г.В. Синько (РФЯЦ – ВНИИТФ, Снежинск).

Степень достоверности результатов. Надежность и достоверность полученных результатов обеспечивается применением широкого набора теоретически обоснованных и практически проверенных методов исследования, использованием современного сертифицированного оборудования, значительным объемом экспериментальных данных с применением современных методов их обработки. Научные положения и выводы диссертации Лобанова А.В. обоснованы, достоверны, логически вытекают из полученных экспериментальных результатов и хорошо согласуются с имеющимися литературными данными. Новые подходы опубликованы в рецензируемых изданиях, доложены на конференциях и приняты научным сообществом.

Научная новизна. Разработано новое научное направление, позволившее решить проблему селективности проявления определенного типа фотохимической активности металлокомплексов, основанное на регулировании типа молекулярной агрегации тетрапирролов и их координационных взаимодействий в многокомпонентных системах.

Первопринципные квантово-химические расчеты позволили установить природу граничных молекулярных орбиталей фталоцианинов и хлоринов с d^0 - и d^{10} -элементами (Mg, Zn, Al, Ga, Si, Ge). Результаты расчетов показали, что ВЗМО и НСМО рассмотренных металлокомплексов локализованы исключительно на макрогетероциклическом лиганде и не затрагивают центральный ион металла, что делает невозможным обменное взаимодействие d -электронов металла и электронов фоточувствительного лиганда и дезактивацию возбужденных состояний. Из этого следует, что:

1) d^0 - и d^{10} -металлокомплексы тетрапирролов фотоустойчивы, поскольку поглощение света вызывает только чисто электронные переходы, но не диссоциативные внутримолекулярные переносы заряда лиганд-металл;

2) данные металлокомплексы обладают высокой реакционной способностью при фотовозбуждении, но инертны в отсутствие освещения, что делает свет фактором «включения» реакционной способности;

3) для тетрапиррольных d^0 - и d^{10} -металлокомплексов должно быть характерно образование долгоживущих триплетных возбужденных состояний с высоким квантовым выходом;

4) энергетические параметры в спектральных свойствах (ширина энергетической щели НСМО-ВЗМО) будут чувствительны лишь к координационным взаимодействиям с участием тетрапиррольного лиганда, но не металла; это позволяет различать эти взаимодействия;

5) агрегация тетрапирролов, вызванная межмолекулярными взаимодействиями, затрагивающими ароматические лиганды, будет существенно влиять на их фотофизические свойства.

Получены новые супрамолекулярные комплексы тетрапирролов с белками, мицеллами детергентов, гидрофильными полимерами, пленки тетрапирролов в полиметилметакрилате и поли-*n*-ксилилене, адсорбционные системы на основе микро- или наноразмерных кремнеземов, монтморрилонита полупроводниковых оксидов, а также наночастицы фталоцианинов.

Определены фотохимические свойства новых систем. Данные позволили надежно определить существование в ряде случаев агрегатов Н- и J-типов. Получены параметры стабильности новых систем и определены их фотофизические свойства в зависимости от состава и типа агрегации металлокомплекса. Так, в катионных и анионных мицеллах тетрапирролы находятся преимущественно в Н-агрегированной форме, тогда как в незаряженных мицеллах и комплексах с полимерами направленным подбором состава удается стабилизировать как мономолекулярные тетрапирролы, так и их агрегаты.

На наночастицах кремнезема иммобилизован J-агрегат фталоцианина алюминия, поглощающий при 740 нм, флуоресцирующий в районе 750 нм и фотогенерирующий триплетные состояния с временем жизни 0.6 мс. Данный результат является первым примером получения биодоступного фотоактивного агрегата тетрапиррола.

Выявлена зависимость агрегационного поведения тетрапиррольных металлокомплексов от наличия экстралигандов. Так, комплексы фталоцианинов Si, Ge, Sn с двумя дополнительными хлорид-анионами практически не агрегируют по сравнению с фталоцианинами Al, Ga, In, содержащими один хлорид-анион. Экспериментально и с помощью квантово-химических расчетов было найдено, что координационным местом для образующегося $^1\text{O}_2$ является ион металла, а аксиальные лиганды хлора, таким образом, служат стерической помехой для координации и фотодеструктивного действия $^1\text{O}_2$.

Для тетрапирролов в многокомпонентных системах показана фотосенсибилизирующая активность в образовании активных форм кислорода $^1\text{O}_2$, OH, O_2^- и H_2O_2 в водных растворах и суспензиях, насыщенных O_2 . В случае наночастиц фталоцианинов и композиционных систем со стабилизированными Н-агрегатами не было зарегистрировано образование $^1\text{O}_2$ вследствие триплет-триплетной аннигиляции, подтвержденной импульсными спектральными методами, однако образование H_2O_2 при этом было

зафиксировано. Таким образом, для мономолекулярных тетрапирролов реализуется механизм переноса энергии на молекулу кислорода от тетрапиррола в триплетном возбужденном состоянии (фотодинамический механизм II типа), а для H-агрегированных тетрапирролов – фотоперенос электрона с возбужденного синглетного уровня на O₂ (механизм I типа). При использовании ловушек радикальных частиц выявлены стадии процесса, зависящие от pH и присутствия нуклеофильных веществ. Наибольшую фотокаталитическую активность в обратном процессе (по типу переноса электрона) имеют H-агрегаты тетрапирролов, как показано, вследствие более сильного координирования H₂O₂.

Практическая значимость. Методами супрамолекулярной и нанохимии возможно получение разнообразных типов фотоактивных систем с принципиально разными направленно достигаемыми и контролируемыми свойствами, из которых представляют наибольший интерес: (1) супрамолекулярные системы, содержащие мономолекулярные металлокомплексы; (2) супрамолекулярные системы, содержащие H-агрегаты тетрапиррольных металлокомплексов; (3) супрамолекулярные системы, содержащие J-агрегаты тетрапиррольных металлокомплексов; (4) супрамолекулярные системы, содержащие мономолекулярные металлокомплексы, в которых координационные взаимодействия между группами носителя и электронной системой тетрапирролов приводят к понижению энергии электронного перехода S₀-T₁ до значений менее 1 эВ.

Установленные отличия в фотохимических свойствах таких систем: для (1) и (3): высокий выход триплетных состояний, триплет-триплетный перенос энергии на кислород (генерация синглетного кислорода), флуоресценция; для (2): активность в фотопереносе электрона на кислород (образование супероксиданион-радикала) или на биогенные молекулы-субстраты, триплет-триплетная аннигиляция; отсутствие флуоресценции; для (4): наличие флуоресценции в отсутствие фотохимической активности.

Возможности использования соответствующих систем:

для (1) и (3): фотодинамические процессы II типа (фотодинамическая терапия рака, фотодинамическая бактерицидность);

для (2): фотодинамическое действие I типа;

для (4): флуоресцентная визуализация (например, диагностика состояния сосудистой стенки, визуализация атеросклеротических патологий).

Получены результаты испытаний новых супрамолекулярных и наноразмерных комплексов молекулярных и агрегированных тетрапирролов в фотодинамическом онкогенном и бактерицидном действии и во взаимодействии с клетками в экспериментальных моделях атеросклероза.

Впервые предложено использование супрамолекулярных комплексов фотоактивных агрегированных тетрапирролов для фотодинамических эффектов и флуоресцирующих тетрапиррольных супрамолекулярных структур с подавленной фототоксичностью за счет координационных взаимодействий для диагностических методов и биосенсорики.

Ценность научных работ соискателя подтверждается многократным участием во всероссийских и международных научных конференциях и симпозиумах: на IV-VII Всероссийских конференциях «Молекулярное моделирование» (Москва, 2005, 2007, 2009, 2011), III Международной конференции «Катализ: теория и практика», посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.К. Борескова (Новосибирск, 2007), Международной конференции «Молекулярные и наноразмерные системы для превращения энергии» (Москва, 2007), XX и XXI Международных конференциях по физической и координационной химии порфиринов и их аналогов (Иваново, 2009, Одесса, Украина, 2011), XIII-XV Международных конференциях «Наукоемкие химические технологии» (Суздаль, 2010, Тула, 2012, Москва, 2014), Международной Чугаевской конференции по координационной химии (Суздаль, 2011), 19-м Международном симпозиуме по фотохимии и фотофизике координационных соединений (Страсбург, Франция, 2011), Международном

конгрессе по органической химии, посвященном 150-летию создания А.М. Бутлеровым теории химического строения органических соединений (Казань, 2011), VI-X Всероссийской конференции «Высоко-реакционные интермедиаты химических и биохимических реакций» (Московская обл., 2011-2015), XIX и XX Менделеевских съездах по общей и прикладной химии (Волгоград, 2011, Екатеринбург, 2016), XXV Международной конференции по металлорганической химии (Лиссабон, Португалия, 2012), и IV-VI Международных конференциях по физической химии краун-соединений, порфиринов и фталоцианинов (Туапсе, 2012, 2014, 2016), Международной конференции молодых ученых и V школе им. академика Н.М. Эмануэля «Окисление, окислительный стресс, антиоксиданты» (Москва-Ереван, 2012), Международной конференции «Биология – наука XXI века» (Москва, 2012), Международном симпозиуме «Горизонты металлорганической химии» (Санкт-Петербург, 2012), 3-м Международном симпозиуме имени академика А.Н. Теренина «Молекулярная фотоника» (Санкт-Петербург, 2012), VII Московском международном конгрессе «Биотехнология: состояние и перспективы развития» (Москва, 2013), III и IV Международных конференциях «Супрамолекулярные системы на поверхности раздела» (Туапсе, 2013, 2015), IV Международной конференции по коллоидной химии и физико-химической механике (Москва, 2013), Третьей международной научной конференции «Новые направления в химии гетероциклических соединений» (Пятигорск, 2013), XXXI Научной сессии Российского семинара по химии порфиринов и их аналогов (Иваново, 2014), Международном конгрессе по химии гетероциклических соединений «KOST-2015» (Москва, 2015), XII Международной конференции «Синтез и применение порфиринов и их аналогов» (Иваново, 2016).

Содержание диссертационной работы и опубликованные по ней материалы: 41 работа в российских и зарубежных рецензируемых изданиях, в том числе 30 статей в журналах, включенных в перечень ВАК РФ, соответствуют специальности 02.00.04 - физическая химия. Результаты диссертационного исследования полностью изложены в опубликованных работах.

1. Завьялов С.А., Схоунман Й., Голубева Е.Н., Лобанов А.В., Пивкина А.Н., Гайнутдинов Р.В. Структура тонкопленочных фотоэлектродных наноконпозитов на основе матрицы из поли-*n*-ксилилена // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. № 3-4. С. 101-108.
2. Лобанов А.В., Рубцова Н.А., Веденева Ю.А., Комиссаров Г.Г. Фотокаталитическая активность хлорофилла в образовании пероксида водорода в воде // Докл. РАН. 2008. Т. 421. № 6. С. 773-776.
3. Лобанов А.В., Сафина Ю.А., Неврова О.В., Комиссаров Г.Г. Взаимопревращение O₂ и H₂O₂ при облучении насыщенных воздухом суспензий хлорофилл/силикагель/вода // В коллективной монографии «Проблемы зарождения и эволюции биосферы» (под ред. Э.М. Галимова). М., Книжный дом «Либроком», 2008, 552 с. С. 195-202
4. Lobanov A.V., Nevrova O.V., Vedeneva Yu.A., Golovina G.V., Komissarov G.G. Photodestruction of chlorophyll in non-biological systems // In: Molecular and Nanoscale Systems for Energy Conversion. Editors: Varfolomeev S., Krylova L. et al. New York, Nova Science Publishers, Inc, 2008. P. 95-99.
5. Nevrova O.V., Lobanov A.V., Komissarov G.G. Chlorophyll and metal porphyrins in photocatalytic redox reactions of hydrogen peroxide // Macroheterocycles. 2009. V. 2. № 3-4. P. 264-267.
6. Lobanov A.V., Vasiliev S.M., Komissarov G.G. Interaction of hemin and hydrogen peroxide: effect of media // Macroheterocycles. 2009. V. 2. № 3-4. P. 268-270.
7. Nevrova O.V., Lobanov A.V., Komissarov G.G. Tetrapyrrolic macrocycles with magnesium, aluminum and zinc in hydrogen peroxide decomposition // Journal of Characterization and Development of Novel Materials. 2011. V. 3. № 3-4. P. 263-271.
8. Lobanov A.V., Nevrova O.V., Ilatovskii V.A., Sin'ko G.V., Komissarov G.G. Coordination and photocatalytic properties of metal porphyrins in hydrogen peroxide decomposition // Macroheterocycles. 2011. V. 4. № 2. P. 132-134.

9. Lobanov A.V., Kobzev G.I., Davydov K.S., Koumaneikina L.V., Komissarov G.G. Special features of singlet oxygen generation photosensitized by magnesium complexes of tetrapyrrolic macrocycles // *Macroheterocycles*. 2011. V. 4. № 2. P. 106-110.
10. Nevrova O.V., Lobanov A.V., Komissarov G.G. Hydrogen peroxide decomposition photocatalyzed by chlorophyll, Cu^{II}- and Cr^{III}-porphyrins immobilized on silica // In: *Modern Problems in Biochemical Physics*. New Horizons. Ed. by S.D. Varfolomeev, E.B. Burlakova, A.A. Popov, G.E. Zaikov. New York, Nova Science Publishers, 2012. P. 263-271.
11. Lobanov A.V., Nevrova O.V., Barzilovich P.Yu., Roubtsova N.A., Komissarov G.G. Interaction of metal porphyrins and hydrogen peroxide: coordination, photocatalysis and electron transfer // In: *Kinetics, catalysis and mechanism of chemical reactions. From pure to applied science. V.2 - Tomorrow and Perspectives*. Ed. by R.M. Islamova, S.V. Kolesov, G.E. Zaikov. New York, Nova Science Publishers, Inc., 2012. P. 305-311.
12. Лобанов А.В., Синько Г.В., Комиссаров Г.Г. Координационные и фотохимические свойства молекулярных и ассоциированных хлорофилла и хлорофиллида в реакциях пероксида водорода // В коллективной монографии «Проблемы зарождения и эволюции биосферы» (под ред. Э.М. Галимова). Т. 2. М., УРСС, 2013. 640 с. С. 319-333.
13. Лобанов А.В., Комиссаров Г.Г. Высокореакционные интермедиаты в фотохимии хлорофилла // *Биофизика*. 2013. Т. 58. № 1. С. 64-69.
14. Сульtimiова Н.Б., Левин П.П., Лобанов А.В., Музафаров А.М. Исследование триплетных состояний фталоцианинов на поверхности нанокремнезема в водных растворах методом лазерного фотолиза // *Химия высоких энергий*. 2013. Т. 47. № 3. С. 186-190.
15. Кобзев Г.И., Лобанов А.В., Давыдов К.С. Влияние гистидина на сенсibilизированную генерацию синглетного кислорода в комплексах с хлорофиллом // *Изв. АН. Сер. хим.* 2013. № 6. С. 1442-1448.

16. Заводчикова А.А., Лобанов А.В., Иванов В.Б. Фотокатализаторы на основе фталоцианинов алюминия и цинка, нанесенных на модифицированный монтмориллонит // Изв. АН. Сер. хим. 2013. № 7. С. 1604-1608.
17. Комиссаров Г.Г., Лобанов А.В., Неврова О.В., Кононихин А.С., Попов И.А., Пеков С.И., Николаев Е.Н. Новый шаг на пути к искусственному фотосинтезу: фотогенерация органических веществ в системе неорганический углерод – пероксид водорода – фталоцианин // Докл. РАН. 2013. Т. 453. № 4. С. 406-409.
18. Gradova M.A., Lobanov A.V. Photophysical properties and aggregation behavior of transition metal tetraphenylporphyrin tetrasulfonate complexes in microheterogeneous media // *Macroheterocycles*. 2013. V. 6. № 4. P. 340-344.
19. Лобанов А.В., Клименко И.В., Неврова О.В., Журавлева Т.С. Влияние биогенных фотохромных акцепторов электрона на флуоресценцию хлорофилла // Ж. физ. химии. 2014. Т. 88. № 5. С. 876-881.
20. Лобанов А.В., Громова Г.А., Горбунова Ю.Г., Цивадзе А.Ю. Супрамолекулярные ассоциаты двухпалубных фталоцианинов лантанидов с макромолекулярными структурами и наночастицами – основа биосенсорных устройств // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2014. Т. 50. № 5. С. 465-472.
21. Лобанов А.В., Кобзев Г.И., Синько Г.В. Молекулярные и ассоциированные тетрапирролы: возбужденные состояния и фотохимические реакции // В книге «Высокореакционные интермедиаты» (под ред. Егорова М.П., Мельникова М.Я.). М., издательство Московского университета, 2014. 400 с. С. 203-230 (обзор).
22. Лобанов А.В., Синько Г.В., Комиссаров Г.Г., Стоянова Л.Ф., Зайков Г.Е. Димерные и тримерные агрегаты хлоринов: координационные и фотохимические свойства // *Вестн. Каз. технол. ун-та*. 2014. Т. 17. № 2. С. 12-16.

23. Лобанов А.В., Мудрецова С.Н., Синько Г.В., Комиссаров Г.Г., Стоянов О.В., Заиков Г.Е. О природе аномального эффекта стабилизации тетрапирролов в комплексах с поли-N-винилпирролидоном и пероксидом водорода // Вестн. Каз. технол. ун-та. 2014. Т. 17. № 2. С. 20-22.
24. Лобанов А.В., Комиссаров Г.Г. Пероксид водорода в искусственных фотосинтезирующих системах // Биофизика. 2014. Т. 59. № 2. С. 215-230.
25. Лобанов А.В., Дмитриева Г.С., Сульимова Н.Б., Левин П.П. Агрегация и фотофизические свойства фталоцианинов в супрамолекулярных комплексах // Хим. физика. 2014. Т. 33. № 5. С. 15-20.
26. Лобанов А.В., Кобзев Г.И., Давыдов К.С., Комиссаров Г.Г. Генерация активных форм кислорода при фотосенсибилизации синглетного кислорода хлорофиллом и его аналогами // Хим. физика. 2014. Т. 33. № 6. С. 3-9.
27. Ударцева О.О., Лобанов А.В., Андреева Е.Р., Дмитриева Г.С., Мельников М.Я., Буравкова Л.Б. Фотофизические свойства и фотодинамическая активность нанокompозитных фталоцианинов алюминия // Биофизика. 2014. Т. 59. № 6. С. 1051-1060.
28. Komissarov G.G., Lobanov A.V. Photoinduced processes of formation and decomposition of hydrogen peroxide and their role in photosynthesis and biosphere origin // *Geochemistry International*. 2014. V. 52. № 13. P. 1222-1234.
29. Dmitrieva G.S., Lobanov A.V. Aggregation behavior of unsubstituted metal phthalocyanines in supramolecular systems // In: *Chemical and Biochemical Technology. Materials, Processing, and Reliability*. Ed. by S.D. Varfolomeev. New Jersey: Apple Academic Press, 2014. P. 187-200.
30. Lobanov A.V., Klimenko I.V., Zhuravleva T.S. Coordination interaction and photoinduced charge separation between chlorophyll and NADP // *Journal of Information, Intelligence, and Knowledge*. 2014. V. 6. № 4. P. 319-325.

31. Gradova M.A., Lobanov A.V. 5,10,15,20-Tetra-(*p*-carboxyphenyl)porphyrin J-aggregate self-assembly in submicellar aqueous anionic surfactant solutions // Mend. Comm. 2015. V. 25. № 3. P. 180-181.
32. Лобанов А.В., Васильев С.М., Кононенко А.Б., Банникова Д.А., Бритова С.В., Савинова Е.П., Горшенев В.Н., Заиков Г.Е., Варфоломеев С.Д. Фталоцианины железа и марганца в комплексах с полимерами. Агрегационные свойства и биоцидная активность // Вестн. Каз. технол. ун-та. 2015. Т. 18. № 2. С. 111-113.
33. Кононенко А.Б., Банникова Д.А., Бритова С.В., Савинова Е.П., Стрелков А.А., Светличкин О.В., Набиуллина Д.Н., Лобанов А.В. Формирование устойчивости микроорганизмов к воздействию дезинфицирующих препаратов // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2015. № 3 (15). С. 46-52.
34. Gradova M.A., Artemov V.V., Lobanov A.V. Aggregation behavior of tetraphenylporphyrin in aqueous surfactant solutions: chiral premicellar J-aggregate formation // Journal of Porphyrins and Phthalocyanines. 2015. V. 19. № 7. P. 845-851.
35. Комиссаров Г.Г., Лобанов А.В., Лысенко А.В., Яценко Н.В., Молокеева И.В. Адсорбция фталоцианина алюминия на силикагеле в статических условиях // Известия ЮЗГУ. Серия Техника и технологии. 2015. № 4 (17). С. 73-77.
36. Градова М.А., Жданова К.А., Брагина Н.А., Лобанов А.В., Мельников М.Я. Агрегационное состояние амфифильных катионных производных тетрафенилпорфирина в водных микрогетерогенных системах // Изв. АН. Сер. хим. 2015. № 4. С. 806-811.
37. Gradova M.A., Kuryakov V.N., Lobanov A.V. The role of the counterions in self-assembly of J-aggregates from *meso*-aryl-substituted porphyrin diacids in aqueous solutions // Macroheterocycles. 2015. V. 8. № 3. P. 244-251.

38. Lobanov A.V., Sultimova N.B., Levin P.P., Meshkov I.B., Mel'nikov M.Ya. Aluminum phthalocyanine on silica nanoparticles: aggregation and excited states // *Macroheterocycles*. 2015. V. 8. № 3. P. 279-283.
39. Ударцева О.О., Лобанов А.В., Андреева Е.Р., Буравкова Л.Б., Мельников М.Я. Имобилизованные фталоцианины магния, алюминия и цинка в фотодинамическом воздействии на мезенхимные стромальные клетки // *Изв. АН. Сер. хим.* 2016. № 1. С. 277-281.
40. Eresko A.B., Lobanov A.V., Tsivadze A.Yu., Andreeva E.R., Raksha E.V., Gromova G.A., Zaikov G.E., Larionova G.S., Klimenko I.V., Buravkova L.B., Mel'nikov M.Ya., Turovskij N.A., Udartseva O.O., Gorshenev V.N., Berestneva Yu.V., Gorbunova Yu.G. Short communication: research note on nanostructures and nanosystems // In: *Applied nanotechnology: materials and applications*. Ed. by Kodolov V.I., Zaikov G.E., Haghii A.K. New Jersey: Apple Academic Press, 2016. P. 55-65.
41. Klimenko I.V., Lobanov A.V. Photosensitizing properties of supramolecular systems based on chlorin e_6 // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. 2016. V. 2. № 4. P. 1-6.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 и п. 14 (об отсутствии заимствований без ссылок на источник и авторов) «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. с изменениями Постановления Правительства Российской Федерации № 335 от 21.04.2016 г., в ред. Постановления Правительства Российской Федерации № 748 от 02.08.2016 г., и является законченной научно-квалификационной работой, в которой развито новое научное направление в физической химии тетрапиррольных соединений – управление фотохимическими свойствами тетрапирролов на надмолекулярном уровне.

Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 02.00.04 - физическая химия.

Заключение принято на заседании заседания расширенного межлабораторного семинара Отдела динамики химических и биологических процессов ИХФ РАН. Присутствовало на заседании 21 чел. Результаты голосования:

«За» – 21,

«Против» – нет,

«Воздержалось» – нет.

Председатель семинара
заведующий лабораторией
фотохимии полимеров ИХФ РАН
д.х.н., проф.



Иванов Виктор Борисович

Секретарь семинара
научный сотрудник лаборатории
фотохимии полимеров ИХФ РАН



Староверова Ольга Валерьевна

19 мая 2016 года