

На правах рукописи

ГОРДЕЕВА Юлия Анатольевна

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В СТРУКТУРАХ НАНОПОРИСТОЕ СТЕКЛО —
АДСОРБИРОВАННЫЕ СЛОЖНЫЕ МОЛЕКУЛЫ**

01.04.05 – оптика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2007

Работа выполнена на кафедре общей физики физического факультета Московского Государственного Университета имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор А.М.Салецкий, физический
факультет МГУ имени М.В.Ломоносова

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор В.В.Фадеев, физический
факультет МГУ имени М.В.Ломоносова;
доктор химических наук, профессор
Г.В.Мельников, Саратовский
Государственный Технический
Университет

Ведущая организация: Калининградский Государственный
Технический Университет

Защита состоится "31" "октября" 2007 г. в 15.00 час. на заседании Специализированного совета Д 501.001.45 при Московском Государственном Университете имени М.В.Ломоносова по адресу: 119992, г. Москва, Ленинские горы, ГСП-2, НИИЯФ МГУ, 19 корпус, аудитория 2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИЯФ МГУ.

Автореферат разослан "26" "сентября" 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 501.001.45
доктор физико-математических наук



Н.Васильев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение фотофизических процессов, и в первую очередь энергетического обмена адсорбированных молекул в низкоразмерных системах, является одной из важных задач современной молекулярной физики, оптики и спектроскопии. Это объясняется как значимостью такого рода процессов в природных системах, так и растущими практическими применениями таких молекулярных систем для регистрации информации, в качестве активных сред и элементов управления лазерных систем и др.

Все большее применение в прикладной оптике получают микрокомпозиционные матричные материалы на основе мелкопористого силикатного стекла, причем особое внимание уделяется оптическим материалам на основе пористых стекол (ПС) с адсорбированными в порах различными молекулами, в том числе - молекулами красителей. Эффективное использование таких материалов возможно в квантовой электронике и прикладной оптике, в первую очередь, в качестве активных сред твердотельных перестраиваемых лазеров. В настоящее время пористые стекла (ПС) также получают применение в качестве адсорбентов (для адсорбции влаги из воздуха), носителей катализаторов (в химических реакциях по очистке бензина, выхлопных газов в автомобилях), полупроницаемых мембран (для разделения жидких и газовых смесей). Перспективно использование ПС в электротехнике (после пропитки соответствующими металлами или сплавами) для создания сверхпроводящих в высоком критическом магнитном поле материалов. Однако недостаточная изученность процессов межмолекулярного энергетического обмена при адсорбции молекул поверхностью твердого тела препятствует более широкому использованию указанных материалов и сдерживает синтез новых материалов с заданными свойствами. Представления, привлекаемые для анализа сложных молекулярных систем, базируются на предположении их гомогенности, подразумевающей отсутствие структурных неоднородностей в окружающей молекулу матрице среды. Реальные же молекулярные системы

характеризуются гетерогенностью, обусловленной пространственной неупорядоченностью молекул.

Существование локальных областей повышенной концентрации молекул в гетерогенных системах напрямую связано с эффективностью протекания в них фотофизических процессов, таких как перенос энергии электронного возбуждения (ПЭЭВ), молекулярная ассоциация, триплет-триплетная аннигиляция (ТТА). При наличии таких областей в системе происходит увеличение эффективности указанных фотофизических процессов из-за уменьшения регламентирующего расстояния между взаимодействующими молекулами, и, следовательно, эта величина является характеристикой структурирования матрицы окружения.

Целью данной работы являлось исследование фотофизических процессов (ПЭЭВ, ассоциация, ТТА) между молекулами сложных органических веществ при адсорбции в матрице пористого стекла с нанопорами и в установлении влияния структуры матрицы пористого стекла на эффективность этих процессов.

В частности, в задачи исследования входило:

1. Изучение ПЭЭВ между разнотипными молекулами органических красителей при адсорбции в матрице пористого стекла.
2. Исследование транспорта энергии электронного возбуждения двухкомпонентных молекулярных систем органических молекул в матрице пористого стекла методом ТТА.
3. Исследование процессов ассоциации и структуры образующихся молекулярных комплексов молекул органических красителей различного типа (анионных и катионных) в матрице пористого стекла.
4. Исследование полярности микроокружения и процессов эксимерообразования в пористом стекле методом люминесцентного зонда.

Научная новизна.

1. Впервые исследована эффективность ПЭЭВ в матрице ПС с различными размерами нанопор между разнотипными молекулами красителей (донор и акцептор). Установлено влияние структуры матрицы на эффективность ПЭЭВ, обусловленное фрактальным распределением активных молекул в матрице ПС.

2. С помощью метода моментов проведен анализ межмолекулярного взаимодействия системы "ПС - органические красители".

3. Впервые исследован транспорт энергии электронного возбуждения двухкомпонентных молекулярных систем и установлена зависимость параметров свечения компонентов от размеров нанопор матрицы стекла. Предложена кинетическая модель процессов ГТА в нанопорах. Определены параметры неоднородности распределения взаимодействующих молекул и фрактальности сложной молекулярной структуры.

4. Впервые исследованы эффективность процессов ассоциации и структура образующихся молекулярных комплексов для красителей различного типа (анионных и катионных) в матрице ПС с разными размерами пор. Установлено влияние структуры матрицы на эффективность ассоциации и структуру образующихся комплексов.

5. Исследовано влияние размеров нанопор стекол на полярность ближайшего окружения люминесцентного зонда (пирен) и эффективность его эксимерообразования.

Научная и практическая значимость результатов.

Результаты исследования фотофизических процессов в системах со структурной организацией расширяют представления о механизмах взаимодействия в сложных молекулярных системах и могут использоваться как методика описания структуры гетерогенных молекулярных систем.

Результаты изучения распределения молекул при адсорбции в матрице ПС с разными размерами нанопор дают новую информацию о структурных

особенностях системы "пористое стекло - молекулы красителей" и способах изменения параметров данной системы. Полученные данные могут быть использованы для построения модели распределения молекул при адсорбции в нанопорах на основании новых данных о фрактальном распределении взаимодействующих молекул.

Установленные кинетические преобразования электронной энергии при ТТА позволяют использовать комплексы возбуждения молекул как модельные объекты для изучения динамики комплексов из возбужденных молекул и установления влияния физико-химических свойств среды. Разработанная математическая модель кинетики процессов парной аннигиляции триплетных электронных возбуждений разносортных молекул в нанопорах отражает реальные зависимости характеристик выходных сигналов от структурных параметров системы.

Перспективно практическое применение новых синтезируемых материалов на основе активированных красителями ПС в квантовой электронике и прикладной оптике, в первую очередь, в качестве активных сред твердотельных перестраиваемых лазеров.

Основные защищаемые положения:

1. Высокая эффективность ПЭЭВ между разнотипными молекулами органических красителей в ПС обусловлена существованием локальных областей с повышенной концентрацией взаимодействующих молекул (молекулярных кластеров) с их фрактальным распределением. Увеличение эффективности ПЭЭВ с ростом размеров пор ПС связано с изменением структуры молекулярных кластеров (с изменением фрактальной размерности распределения взаимодействующих молекул).

2. Формирование спектрально-люминесцентных характеристик двухкомпонентных молекулярных систем, адсорбированных в ПС, осуществляется за счет следующих физических процессов, происходящих в структуре "ПС-сложные молекулы":

- переориентация молекул красителей в порах,
- флуктуационная перестройка микроокружения молекулы,
- стабилизация образующихся комплексов.

3. Для двухкомпонентных молекулярных систем органических молекул в ПС параметры замедленной флуоресценции (ЗФ) и фосфоресценции (ФОС) компонентов сложной молекулярной системы зависят от размеров пор матрицы. Неоднородность распределения взаимодействующих молекул системы уменьшается с увеличением радиуса пор, а размерность системы увеличивается. В более крупных порах включается механизм кросс-аннигиляции.

4. Степень процессов ассоциации молекул красителей при адсорбции в ПС и структура образующихся комплексов зависят от типа красителя, его концентрации и размеров пор матрицы. Эффективность процессов ассоциации молекул красителей в ПС увеличивается по сравнению с их этанольными растворами.

5. Полярность окружения люминесцентного зонда в нанопорах стекла уменьшается с увеличением их радиуса. Эффективность процессов эксимерообразования со временем уменьшается, что свидетельствует о жесткой фиксации молекул зонда на стенках матрицы ПС при адсорбции.

Апробация работы: Основные результаты диссертационной работы были представлены на следующих конференциях:

- Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам “Ломоносов 2004” (Москва, 2004);
- Третья международная конференция “Фундаментальные проблемы оптики - 2004” (СПб, 2004);
- XI Всероссийская конференция “Структура и динамика молекулярных систем – Яльчик – 2004” (Йошкар-Ола, 2004);
- Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам “Ломоносов 2005” (Москва, 2005);

- XII Всероссийская конференция “Структура и динамика молекулярных систем – Яльчик – 2005” (Йошкар-Ола, 2005);
- Четвертая международная конференция “Фундаментальные проблемы оптики - 2005” (СПб, 2005);
- Международная конференция “Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы“ (Ульяновск, 2006).

Публикации: по материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 138 страницах, содержит 34 рисунка, 2 таблицы и список цитируемой литературы из 145 наименований.

Во *введении* рассматривается актуальность поставленных задач и обсуждаются цели настоящей работы.

Первая глава, состоящая из 5 параграфов, посвящена структурным характеристикам ПС и обзору литературы, рассматривающей фотофизические процессы между молекулами сложных органических веществ и особенности их протекания в ПС.

Вторая глава посвящена методической части экспериментов. Представлены методики приготовления образцов и описаны экспериментальные методы исследования.

В главе третьей и четвертой представлены и обсуждены полученные экспериментальные результаты.

В заключение отдельным пунктом вынесены *основные результаты и выводы* работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, показана новизна и научно-практическая значимость результатов, изложены основные защищаемые положения диссертации.

Глава 1, состоящая из пяти параграфов, посвящена структурным характеристикам пористых стекол (§1.1.), обзору литературы, относящейся к свойствам ПС (§1.2.), исследованию ПЭЭВ в ПС (§1.3.), ассоциации молекул красителей (§1.4.), длительным процессам свечения и фосфоресценции (§1.5.).

Глава 2 посвящена методической части экспериментов: представлены методики приготовления образцов (характеристики пористых стекол и растворов красителей) (§2.1.), описаны экспериментальные методы исследования: метод изучения кинетики затухания замедленной флуоресценции и фосфоресценции (§2.3.), методы люминесцентно-спектрального анализа (§2.2, §2.4., §2.5.).

Глава 3 посвящена исследованию **влияния структуры пористых стекол на фотофизические процессы в системе "пористое стекло – адсорбированные молекулы"**.

В параграфе §3.1. представлены результаты исследования процессов переноса энергии электронного возбуждения между красителями различного типа (донор – родамин 6Ж (Р6Ж) и акцептор – метиленовый голубой (МГ)), совместно введенных из этанольных растворов в матрицы ПС с разными размерами нанопор, при различных концентрациях МГ. Для характеристики эффективности ПЭЭВ в исследованных системах были определены значения теоретического и экспериментального критического радиусов ПЭЭВ R_0 . Проведенные исследования показали, что теоретическое значение критического радиуса R_0 для исследованных систем практически не изменялось и оставалось равным 6.3 нм, в то время как экспериментальное значение R_0 для различных ПС отличаются. Радиус переноса энергии в этанольном растворе составил порядка 6.8 нм, в то время как для молекул красителей в ПС с увеличением размера пор наблюдается рост R_0 от 14.8 до 16 нм, указывающий на увеличение эффективности ПЭЭВ в ПС. Проведенные в настоящей работе экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о фрактальном распределении молекул в порах стекла. В порах малого радиуса (~1.3 нм) молекулы красителей выстраиваются в цепочку с фрактальной размерностью γ

~1. По мере увеличения радиуса пор до 6.5 нм увеличивается локальное окружение каждой молекулы, увеличивается радиус переноса энергии R_0 и увеличивается фрактальная размерность до $\gamma \sim 2$. То есть процессы ПЭЭВ в матрицах ПС осуществляются в структурах, подобных кластерам, с фрактальной размерностью $\gamma < 3$ и с зависимостью γ от размеров пор. Таким образом, высокая эффективность процессов ПЭЭВ в матрицах ПС обусловлена их морфологией. Данные системы имеют фрактальную размерность, за счет чего в областях с локально высокой концентрацией молекул красителя наблюдается увеличение эффективности ПЭЭВ.

В параграфе §3.2. с помощью метода моментов был проведен анализ взаимодействия адсорбированных в ПС молекул красителей. Показано, что взаимодействие молекул красителей друг с другом и с силикатной матрицей ПС вызывает сильное изменение окружения молекул красителей по сравнению с их спиртовыми растворами, что отражается на спектральных характеристиках. В присутствии в ПС второго красителя спектры люминесценции РБЖ в ПС сдвигаются в коротковолновую область. Наблюдаемое уменьшение стоксова сдвига указывает на уменьшение полярности окружения - происходит переориентация молекул красителей результате их индуктивно-резонансного взаимодействия. Пространственная неоднородность ансамбля молекул может приводить к его спектральной неоднородности, если учитывать индуктивно-резонансное взаимодействие между молекулами. С увеличением радиуса пор ПС дисперсия спектров увеличивается. К росту дисперсии ведет неоднородное уширение уровней, связанное с флуктуационной перестройкой окружения. Для анализа влияния окружения на вращательные движения молекул зонда был введен фактор формы F , минимальные его значения наблюдаются в больших порах и при больших концентрациях МГ. Это указывает на увеличение времени релаксации адсорбированных молекул, то есть происходит стабилизация комплекса – за счет увеличения количества молекул красителей в порах.

В параграфе §3.3. предложена математическая модель кинетики статической и миграционно-ускоренной аннигиляции органических молекул в нанопорах, учитывающая корреляции высокого порядка в межчастичном распределении реагентов. Расчетные кинетические кривые сенсibilизированной АЗФ акцептора оказались качественно подобными экспериментальным кривым. Представленная кинетическая модель процессов парной аннигиляции триплетных электронных возбуждений разноразных молекул в нанопористых стеклах отражает, в общих чертах, экспериментально наблюдаемые зависимости люминесцентных сигналов от структурных параметров системы и оказывается чувствительной к возможно реализуемым на практике типам размещения и режимам миграции молекул реагентов, в том числе - выполняющих функции бинарного люминесцентного зонда.

В параграфе §3.4. представлены результаты исследования транспорта энергии электронного возбуждения в смесях органических молекул методом триплет-триплетной аннигиляции. В результате измерений кинетики донор-акцепторного переноса энергии и аннигиляции триплетных электронных возбуждений двухкомпонентных смесей органических молекул эритрозин-антрацен в ПС было обнаружено:

1. зависимость амплитудно-временных параметров люминесценции компонентов от характерной величины радиуса пор ПС;
2. интенсивная сенсibilизированная ЗФ акцептора (антрацен) с характерным нарастанием амплитуды сигнала на временном интервале 10-40 мкс;
3. сильная зависимость кинетики ЗФ и менее ярко выраженная – ФОС донорного компонента (эритрозин) от радиуса пор ПС.

В порах большего радиуса наблюдается увеличение интенсивности ЗФ донора и одновременно – уменьшение характерной продолжительности импульса свечения. На это указывает и резкое сокращение эффективного времени жизни триплетного состояния антрацена. Установлено, что перенос энергии с триплетных уровней эритрозина (14400 см^{-1}) на триплетные уровни антрацена

(14000 см^{-1}) идет с очень высокой вероятностью. В наиболее крупных порах включается механизм кросс-аннигиляции, дистанционной или диффузионно-индуцированной – в зависимости от того, содержатся ли в порах остатки растворителя-спирта. С ростом радиуса поры число молекул эритрозина в ней увеличивается, тем самым повышая число возбужденных донорных центров. Конкуренентоспособность кросс-аннигиляционных актов возрастает до заметного уровня, что и проявляется в росте амплитуды сигнала АЗФ донора и резком сокращении продолжительности импульса этого вида свечения. Наблюдаемая специфическая зависимость характеристик импульсного свечения компонентов от размеров пор связана с особенностями размещения в них молекул люминофоров.

В параграфе §3.5. рассмотрены фрактальные свойства длительной люминесценции смесей органических соединений (эритрозин-антрацен) в ПС с разными размерами нанопор. Результаты исследования топологии поверхности ПС с помощью модели случайных блужданий триплетной энергии показали, что рассматриваемые системы характеризуются неоднородным распределением взаимодействующих молекул (неоднородность системы уменьшается с увеличением радиуса пор), а размерность системы увеличивается с увеличением радиуса пор ПС.

Глава 4 посвящена **исследованию процессов комплексообразования сложных молекул в ПС в основном и в возбужденном состоянии.**

В параграфе §4.1. представлены результаты исследования процессов ассоциации молекул красителей различного типа (анионных и катионных) в матрице ПС с разными размерами пор. Установлено, что адсорбция красителей в ПС способствует значительному увеличению степени ассоциации ($1-X$) молекул (X - доля мономеров в системе) по сравнению с этанольными растворами этих же красителей. Степень ассоциации с увеличением концентрации адсорбированного красителя возрастает для всех трех красителей, однако ее ход оказывается качественно различным для анионных и катионных красителей – в ПС с большими порами степень ассоциации для

эозина выше, чем в ПС с меньшими порами, а для МГ и Р6Ж наблюдается обратная зависимость.

В параграфе §4.2. представлены результаты исследования структуры образующихся комплексов при адсорбции молекул в ПС. Были получены значения зависимости угла между мономерными молекулами Р6Ж, МГ и эозина в димерах для различных значений радиуса пор матрицы ПС. Установлены различия хода зависимостей угла между мономерными молекулами в димере от радиуса пор анионных и катионных красителей. Для анионных красителей наблюдается уменьшение угла в порах с большим радиусом. А для катионных красителей угол увеличивается с ростом радиуса пор.

В ПС имеет место неоднородное концентрирование адсорбированных молекул красителей. Высокая эффективность процессов ассоциации, как и процессов переноса энергии электронного возбуждения, в матрицах ПС обусловлена их морфологией. Данные системы имеют фрактальную размерность, за счет чего в областях с локально высокой концентрацией молекул красителя наблюдается увеличение эффективности процессов ассоциации.

В параграфе §4.3. представлены результаты исследования полярности микроокружения и процессов эксимерообразования в ПС методом люминесцентного зонда (пирен). Установлено, что полярность окружения люминесцентного зонда в ПС уменьшается с увеличением радиуса пор, т.е. зонд находится во все более гидрофобном окружении, причем подобные эффекты не наблюдаются в гомогенных растворах. С течением времени полярность окружения пирена увеличивается, т.е. по мере испарения этанола пирен находится во все менее гидрофобном окружении.

Установлено, что эффективность эксимерообразования пирена со временем уменьшается. В присутствии паров этанола, способного к более сильным взаимодействиям с матрицей ПС за счет образования водородных связей с полярными группами, связь пирен - сорбент ослабевает и молекулы

пирена становятся более подвижными, что ведет к образованию эксимеров. По мере испарения этанола диффузная подвижность молекул ослабевает. Полученные данные свидетельствуют о жесткой фиксации молекул пирена на стенках матрицы ПС при адсорбции. Установлено, что с увеличением радиуса пор вероятность эксимерообразования в них увеличивается – так как увеличивается число молекул пирена в порах.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Исследованы процессы переноса энергии электронного возбуждения между разнотипными молекулами органических красителей при адсорбции в матрице ПС с разными размерами пор. Зарегистрировано увеличение критического радиуса ПЭЭВ между адсорбированными молекулами красителей в ПС по сравнению с растворами. Установлено, что высокая эффективность процессов ПЭЭВ в матрицах пористого стекла обусловлена их морфологией. Данные системы имеют фрактальную размерность $\gamma < 3$, за счет чего в областях с локально высокой концентрацией молекул красителя наблюдается увеличение эффективности ПЭЭВ.

2. Методом люминесцентного зонда исследованы взаимодействия в системе "ПС - органические молекулы". Для двухкомпонентных систем обнаружены следующие эффекты: сдвиг спектров люминесценции в коротковолновую область за счет переориентации молекул красителей в результате их индуктивно-резонансного взаимодействия; увеличение дисперсии спектров люминесценции донора в результате влияния неоднородного уширения уровней, связанного с флуктуационной перестройкой окружения; увеличение времени релаксации адсорбированных молекул, обусловленное стабилизацией комплекса.

3. Впервые исследован транспорт энергии электронного возбуждения методом триплет-триплетной аннигиляции двухкомпонентных систем органических молекул, адсорбированных в ПС с разными размерами пор. Зарегистрирована интенсивная сенсibilизированная ЗФ акцептора с

характерным нарастанием амплитуды сигнала на временном интервале 10-40 мкс; сильная зависимость кинетики ЗФ и менее ярко выраженная – ФОС донорного компонента от радиуса пор матрицы. Установлено, что в порах большего радиуса наблюдается увеличение интенсивности ЗФ донора и одновременно – уменьшение характерной продолжительности импульса свечения. Интенсивность ФОС донора при этом падает, а интенсивность ЗФ вначале падает, а затем увеличивается, резко уменьшаясь по продолжительности. В более крупных порах включается механизм кросс-аннигиляции.

4. Разработана кинетическая модель процессов ТТА в нанопорах стекла. Установлена специфическая зависимость характеристик ЗФ и ФОС компонентов от размеров пор матрицы, которая связана с особенностями размещения в них молекул люминофоров. Установлено, что распределение молекул красителей в ПС является неоднородным, неоднородность системы уменьшается с увеличением радиуса пор, при этом фрактальная размерность системы увеличивается.

5. Впервые изучены процессы ассоциации молекул красителей различного типа (анионных и катионных) в матрице пористого стекла с разными размерами нанопор. Установлено, что адсорбция красителей в ПС способствует значительному увеличению степени ассоциации молекул по сравнению с этанольными растворами этих же красителей. Установлены различия в зависимостях эффективности ассоциации и в структуре образующихся комплексов от концентрации и от радиусов пор для анионных и катионных красителей.

6. Установлено влияние структуры матрицы ПС на полярность ближайшего окружения люминесцентного зонда пирена и эффективность его эксимерообразования. Полярность окружения люминесцентного зонда в ПС уменьшается с увеличением радиуса пор, т.е. зонд находится во все более гидрофобном окружении. Установлено, что с увеличением радиуса пор ПС вероятность эксимерообразования в них увеличивается. Эффективность

эксимерообразования уменьшается со временем, что свидетельствует о жесткой фиксации молекул зонда на стенках матрицы ПС.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Антропова Т.В., Гордеева Ю.А., Рыжиков Б.Д., Салецкий А.М. Перенос энергии электронного возбуждения между разнотипными молекулами красителей в матрице пористого стекла. ЖПС, 2005, т.72, №4, с.446-449.

2. Гордеева Ю.А., Салецкий А.М. Влияние размеров пор силикатного стекла на степень ассоциации молекул красителей. ЖПС, 2006, т.73, №6, с.824–827.

3. Гордеева Ю.А., Чугаров Д.П. Ассоциация молекул красителей в пористом стекле. Оптический журнал, 2007, т.74, №2, с.84-88.

4. Гордеева Ю.А., Чугаров Д.П. Перенос энергии между молекулами красителей различного типа в спиртовых растворах и пористом стекле. Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам "Ломоносов 2004", секция "физика", МГУ, физ.ф-т, 2004, Тезисы докладов, с.108.

5. Гордеева Ю.А., Рыжиков Б.Д., Салецкий А.М., Антропова Т.В. Процессы переноса энергии электронного возбуждения в наносистемах пористое стекло – адсорбированные молекулы красителей. Третья международная конференция "Фундаментальные проблемы оптики – 2004", СПб: СПбГУ ИТМО, 2004, Сборник трудов, с.138

6. Гордеева Ю.А., Рыжиков Б.Д., Салецкий А.М. Исследование процессов переноса энергии электронного возбуждения в системах пористое стекло – адсорбированные молекулы. XI Всероссийская конференция "Структура и динамика молекулярных систем – Яльчик – 2004", Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004, Сборник тезисов, докладов и сообщений, с.80.

7. Чугаров Д.П., Гордеева Ю.А. Исследование ассоциации метиленового голубого в матрице пористого стекла с разными размерами пор. Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по

фундаментальным наукам "Ломоносов 2005", секция "физика", МГУ, физ.ф-т, 2005, Сборник тезисов, с.129.

8. Гордеева Ю.А., Салецкий А.М., Чугаров А.П. Исследование процессов ассоциации молекул красителей в матрице пористого силикатного стекла. XII Всероссийская конференция "Структура и динамика молекулярных систем – Яльчик – 2005", Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005, Сборник тезисов, докладов и сообщений, с. 56.

9. Гордеева Ю.А., Чугаров Д.П. Ассоциация молекул красителей в пористом стекле. Четвертая международная конференция "Фундаментальные проблемы оптики - 2005", СПб: СПбГУ ИТМО, 2005, Сборник трудов, с.241.

10. Гордеева Ю.А., Салецкий А.М., Летута С.Н., Старовойтов Ю.А. Кинетика длительной люминесценции органических молекул в нанопорах. Международная конференция "Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы", Ульяновск, 2006, Сборник трудов, с.180.

Отпечатано на ризографе
в ОНТИ ГЕОХИ РАН
Зак.104. Тираж 100 экз.