

На правах рукописи

БУЛАКОВ Дмитрий Владимирович

**ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МИКРОГЕТЕРОГЕННЫХ
ПОЛИМЕР – МИЦЕЛЛЯРНЫХ РАСТВОРАХ СЛОЖНЫХ
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

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 им. М.В. Ломоносова.

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

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор В.З. Пащенко,
биологический факультет МГУ
им. М.В. Ломоносова;
доктор физико-математических наук,
профессор Р.З. Сюняев, РГУ нефти и
газа им. И.М. Губкина

Ведущая организация: Оренбургский Государственный
Университет

Защита состоится " 1 " ноября " 2007г. в " 18 " час. на заседании
Специализированного совета Д 501.001.67 при Московском Государственном
Университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992, г. Москва, Ленинские
горы, ГСП-2, Физический факультет, Физическая аудитория
им Р.В. Хохлова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке физического факультета
МГУ.

Автореферат разослан " 28 " сентября 2007г.

Ученый секретарь
Специализированного совета Д 501.001.67
кандидат физико-математических наук

А.Ф. Королёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение микрогетерогенных молекулярных структур является в последнее время одной из важнейших задач современной физики, оптики и спектроскопии. Это объясняется значимостью такого рода структур в природных системах, а также их растущим практическим применением в биофизике, медицине, химической физике, промышленности.

Одним из примеров таких структур являются полимер-мицеллярные комплексы – высокомолекулярные соединения полиэлектролитов с поверхностно-активными веществами. Данные системы обладают легко варьируемыми формой и размерами, имеют особые оптические и биологические свойства. Существование как электростатических взаимодействий между заряженными компонентами комплекса, так и гидрофобных взаимодействий между полимерными цепочками и мицеллярной основой обуславливают способность к самоорганизации. Поэтому полимер-мицеллярные системы можно рассматривать в качестве нанореактора с легко варьируемыми размерами, формой и “природой” стенок.

Отличительной особенностью полимер-мицеллярных комплексов является их способность связывать заряженные частицы. В связи с этим, особый интерес представляет изучение фотофизических процессов, в том числе переноса энергии электронного возбуждения и молекулярной ассоциации, происходящих в ансамблях молекул сложных органических соединений, внедренных в микрогетерогенную полимер-мицеллярную матрицу. Интерес к этим процессам обусловлен тем, что их эффективность напрямую зависит от пространственной организации системы, и в первую очередь, от её гетерогенности, обусловленной наличием областей с повышенной концентрацией молекул. Поэтому выявленные закономерности

фотофизических процессов в таких гетерогенных молекулярных системах позволяют определить их структурные изменения.

Цель проведенных исследований состояла в изучении структуры полимер-мицеллярных систем, фотофизических процессов между внедренными молекулами сложных органических веществ, влияния структуры образующихся комплексов на эффективность таких процессов.

В частности, в задачи диссертационной работы входили исследования:

1. Структурных особенностей полимер-мицеллярных комплексов методами лазерной корреляционной спектроскопии.
2. Однородной и разнородной ассоциации молекул органических красителей в полимер-мицеллярных растворах.
3. Процессов переноса энергии электронного возбуждения между молекулами органических красителей в полимер-мицеллярных растворах.

Научная новизна.

Впервые методами лазерной корреляционной спектроскопии показано влияние концентрации, степени полимеризации, количества заряженных звеньев полиэлектролита на форму, размеры и полидисперсность образующихся полимер-мицеллярных комплексов. Впервые проведено исследование процессов однородной и разнородной ассоциации молекул красителей в полимер-мицеллярных растворах. Установлено, что формирование полимер-мицеллярных комплексов оказывает стабилизирующее действие на структуру образующихся ассоциатов красителя. Впервые исследованы процессы переноса энергии электронного возбуждения между молекулами активных красителей в растворах полимер-мицеллярных комплексов с добавлением органических растворителей. Зарегистрирована высокая эффективность таких процессов в полимер-мицеллярных растворах, обусловленная формированием кластерных структур с фрактальной размерностью распределения взаимодействующих молекул.

Научная и практическая значимость полученных результатов.

Результаты исследования фотофизических процессов в растворах с микрогетерогенной структурной организацией расширяют представления о механизмах взаимодействия в сложных молекулярных и биологических системах. Предложенные экспериментальные подходы в исследованиях сложных молекулярных систем и полученные результаты могут быть использованы в качестве методики изучения структуры микрогетерогенных молекулярных систем и фотофизических процессов, проходящих в этих системах, и для построения модели сложных полимер-мицеллярных структур. Полученные данные о структуре полимер-мицеллярных комплексов могут служить основой для создания и разработки новых микрогетерогенных структур, применяемых в медицине, пищевой и нефтедобывающей промышленности.

Основные защищаемые положения.

1. Структура, форма и распределение по размерам образующихся полимер-мицеллярных комплексов определяются электростатическими взаимодействиями макромолекул системы и регламентируются степенью полимеризации и концентрацией полиэлектролита. Увеличение концентрации и уменьшение степени полимеризации полиэлектролита в растворе обуславливает уменьшение его полидисперсности. При больших концентрациях полиэлектролита в растворах наблюдается формирование ассоциатов полимер-мицеллярных комплексов.

2. Уменьшение размеров и изменение формы полимер-мицеллярных комплексов при добавлении в раствор органических растворителей (спиртов) связано с уменьшением полярности среды и усилением эффекта противоионной ассоциации.

3. Высокая эффективность однородной и разнородной ассоциации молекул органических соединений в растворах макромолекул поверхностно-

активных веществ и полиэлектролитов обеспечивается за счет внедрения ионных молекул красителей в полимер-мицеллярный комплекс.

4. Высокая эффективность процессов переноса энергии электронного возбуждения между молекулами красителей в полимер-мицеллярных растворах обусловлена формированием кластерных структур с фрактальной размерностью системы взаимодействующих молекул.

5. В микроструктурированных полимер-мицеллярных растворах процессы насыщения люминесценции молекул красителей при малых интенсивностях возбуждающего света связаны с усилением процессов статического и динамического тушения флуоресценции.

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

1. 10-я Международная конференция студентов и аспирантов по фундаментальным наукам “Ломоносов-2003” (Москва, 2003).
2. 3-я Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика –2003» (Санкт-Петербург, 2003).
3. Международная конференция «Современные проблемы физики и высокие технологии» (Томск, 2003).
4. 4-ая Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика – 2005» (Санкт-Петербург, 2005).
5. 3-я Международная конференция «Фундаментальные проблемы физики» (Казань, 2005).
6. 4-ый Международный конгресс «Оптика –21 век» (Санкт-Петербург, 2006).
7. 14-ая Всероссийская конференция «Структура и динамика молекулярных систем» (Яльчик, 2007).
8. 13-я Всероссийская научная конференция студентов–физиков и молодых учёных (Ростов-на-Дону, 2007).

9. Международная конференция «Laser applications in life sciences» (Москва, 2007).

10. 13-я Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам “Ломоносов-2007” (Москва, 2007).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 124 страницы, включает 49 рисунков, а также список использованной литературы из 174 наименований.

Во введении рассматриваются актуальность поставленной задачи и обсуждаются цели настоящей работы.

Первая глава, состоящая из 3 параграфов, посвящена обзору литературы, относящейся к описанию структурных особенностей комплексов на основе полиэлектролитов и поверхностно-активных веществ, а также исследуемых фотофизических процессов.

Во второй главе перечислены вещества, использовавшиеся в работе, представлены методики приготовления образцов, описаны экспериментальные методы исследования структуры полимер-мицеллярных комплексов и фотофизических процессов.

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

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

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 трех параграфов, посвящена описанию структуры комплексов на основе полиэлектролитов и поверхностно –

активных веществ (§1.1.), обзору литературы, посвященной исследованию фотофизических процессов: ассоциации (§1.2) и переносу энергии электронного возбуждения (ПЭЭВ) (§1.3) между молекулами сложных органических соединений в микрогетерогенных молекулярных системах.

Глава 2 посвящена методической части экспериментов: представлены объекты исследования и методики приготовления образцов (§2.1.), описаны экспериментальные методы исследования: динамическое светорассеяние (§2.2.), люминесцентно-спектральный анализ (§2.3.), абсорбционный метод (§2.4.).

Глава 3 посвящена исследованию **структуры микрогетерогенных полимер-мицеллярных комплексов.**

В параграфе §3.1. представлены результаты исследований комплексообразования в микрогетерогенных системах на основе полиэлектролита (ПЭ) – полиакриловой кислоты (ПАК) и поверхностно-активного вещества (ПАВ) – цетилпиридиний хлорида (ЦПХ) абсорбционным методом в водных и этанольных растворах.

На основании полученных данных установлено, что увеличение концентрации ПЭ в полимер-мицеллярных комплексах (ПМК) для всех степеней полимеризации ведет к уменьшению критической концентрации ассоциации (ККА). При малых концентрациях ПАК ($<10^{-5}$ моль/л) ККА раствора больше критической концентрации мицеллообразования (ККМ) для ЦПХ в водном растворе. Однако в дальнейшем, с ростом концентрации ПАК, наблюдается уменьшение ККА, более чем на порядок, связанное с увеличением ионной силы раствора. Существенный рост (~ 6 раз) ККА ПМК с увеличением степени полимеризации ПЭ наблюдается только для малых концентраций ПАК ($<10^{-5}$ моль/л). Таким образом, меняя концентрацию и степень полимеризации ПЭ можно существенным образом влиять на степень связывания ПАВ и ПЭ в растворе.

Исследования влияния этанола подтвердили деструктивное действие спирта на процесс полимер-детергентного комплексообразования. При малых концентрациях ПЭ, т.е. когда ККА превышает КKM ЦПХ, добавление спирта уменьшает значение концентрации ЦПХ, при которой наблюдаются существенные изменения оптической плотности раствора. Вместе с тем, для полимер-мицеллярных растворов, содержащих ПЭ с концентрацией $> 10^{-4}$ моль/л, значение ККА растет с ростом объемной доли содержания спирта и при значениях больших 10% становится равной КKM ЦПХ в водном растворе.

В параграфе §3.2. представлены результаты исследований размера и формы ПМК для различных значений концентрации и степени полимеризации ПЭ методом лазерной корреляционной спектроскопии.

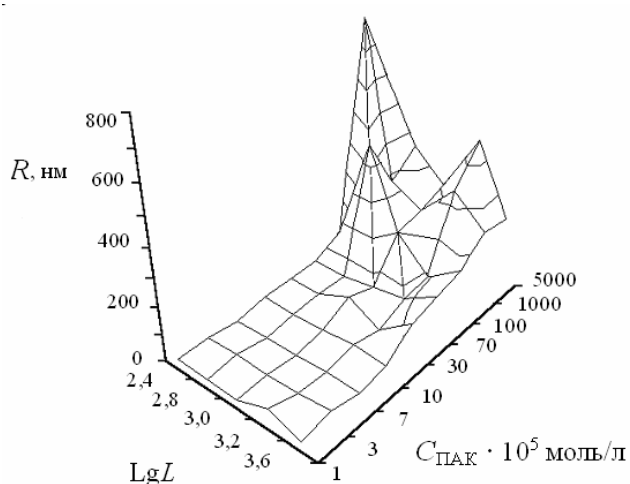


Рис.1 Зависимость гидродинамического радиуса комплекса ПАК-ЦПХ (R) от концентрации ($C_{\text{ПАК}}$) и степени полимеризации (L) ПЭ

Зависимость гидродинамического радиуса комплекса ПАК-ЦПХ (R) от концентрации ($C_{\text{ПАК}}$) и степени полимеризации (L) ПЭ представлена на рис.1.

Экспериментальное исследование влияния ПЭ на структуру образующихся комплексов ПАК – мицелла показало, что гидродинамический радиус образу-

ющихся комплексов, возрастает с увеличением концентрации ПЭ (рис.1). При этом градиент этой зависимости в области концентраций ПАК от 10^{-5} до 10^{-3} моль/л является незначительным. Однако при увеличении доли ПАК в растворе он резко возрастает. В области концентраций ПАК порядка 10^{-3} моль/л радиус образующихся комплексов возрастает более чем в 20 раз, что говорит об образовании в полимер-мицеллярном растворе качественно новых структур. Зависимость радиуса ПМК от степени полимеризации ПЭ имеет

немонотонный характер. Существенное увеличение радиуса рассеивающих комплексов наблюдается только для степени полимеризации, равной 250 звеньев. На основании полученных экспериментальных данных установлено, что ПМК, концентрация ПЭ в которых меньше, чем 10^{-3} моль/л, имеют сферическую форму. При больших концентрациях ПАК форма комплексов принимает вид эллипсоида вращения.

Выше представленные результаты были получены в предположении монодисперсности рассеивающих объектов. Но реальные полимермицеллярные растворы за счет взаимодействия и образования более сложных комплексов могут быть полидисперсными. Исследования показали, что наибольший разброс размеров образующихся комплексов ПАК-мицелла (dR) наблюдается при концентрации ПЭ $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ моль/л. При этом для каждой концентрации ПЭ зависимость dR от числа сегментов L практически не наблюдается. При больших степенях полимеризации ПЭ, в растворах наблюдается формирование комплексов двух типов (с двумя характерными средними размерами).

В параграфе §3.3. представлены результаты исследования размера, формы ПМК для различных значений концентрации и степени полимеризации ПЭ в спиртовых растворах. При переходе от водных сред к водно-органическим, в связи с уменьшением полярности среды и усилением эффекта противоинной ассоциации, снижается электростатическое поле полииона, вследствие чего определяющим фактором связывания ПАВ и ПЭ становятся сольватационные эффекты. Размеры ПМК с малыми концентрациями ПЭ ($<10^{-3}$ моль/л) уменьшаются примерно в 20 раз с увеличением объёмной доли спирта в растворе до 20%, в то время как, аналогичные изменения концентрации спирта в ПМК с большими концентрациями ПЭ ($>10^{-3}$ моль/л) вызывают уменьшение размеров комплексов только в два раза.

Показано, что замена водного окружения на менее полярное водно-спиртовое, существенным образом влияет на форму ПМК. В частности увеличение концентрации спирта в этанольных растворах ПМК вызывает формирование комплексов эллипсоидальной формы для всех концентраций и степеней полимеризации ПАК.

Глава 4 посвящена исследованию **фотофизических процессов в микрогетерогенных полимер-мицеллярных растворах красителей.**

В параграфе §4.1. представлены результаты исследований димеризации молекул метиленового голубого (МГ) в полимер – мицеллярных растворах. Получены значения степени ассоциации молекул красителя МГ в полимер-мицеллярных растворах с различной концентрацией ПАК и длиной полимерной цепи. Полученные результаты показали, что эффективность процесса димеризации существенно возрастает с ростом концентрации ПЭ в растворе. При этом наиболее эффективно димеризация проходит в полимер-мицеллярных растворах со степенью полимеризации 630 сегментов.

Исследовано влияние структуры полиэлектролитного и полимер-мицеллярного раствора на структуру димера. Показано, что в отличие от полиэлектролитных растворов МГ, для которых вариация концентрации ПАК приводит к существенному изменению структуры образующихся димеров, для полимер-мицеллярных растворов во всей исследованной области концентраций ПАК структура димеров одинакова. Это указывает на образование в данных растворах высокоорганизованных структур ПАВ-ПАК-МГ.

В параграфе §4.2. исследована ассоциация разнородных молекул красителей МГ и эозина (Э) в полимер-мицеллярных растворах. Экспериментальные исследования показали, что с ростом концентрации эквимольной смеси красителей МГ и Э в полимер-мицеллярных и полиэлектролитных растворах происходит резкое увеличение степени разнородной ассоциации ($1 - X$).

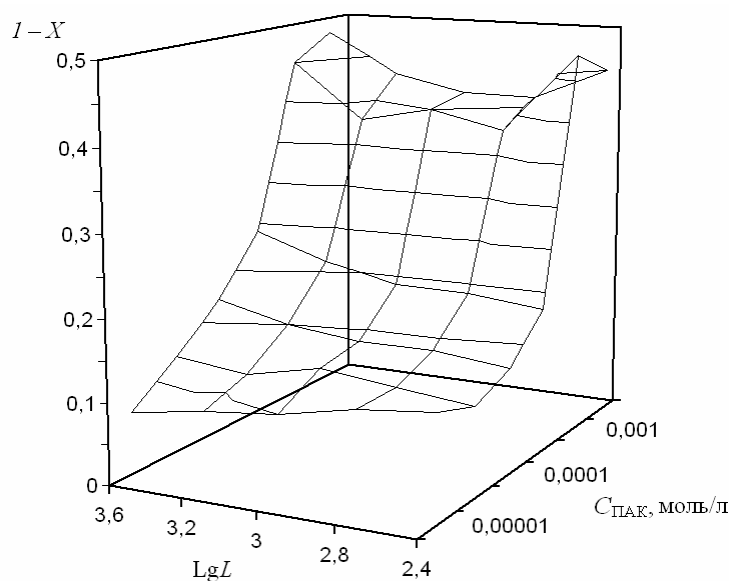


Рис.2 Зависимость степени разнородной ассоциации эквимольярной смеси красителей МГ и Э (10^{-3} моль/л) от концентрации и степени полимеризации ПАК

Зависимость степени разнородной ассоциации эквимольярной смеси красителей МГ и Э (10^{-3} моль/л) от $C_{\text{ПАК}}$ и L представлена на рис.2. Установлено, что с ростом $C_{\text{ПАК}}$ происходит увеличение степени разнородной ассоциации в полимер-мицеллярных растворах. Данное поведение объясняется, тем, что с

увеличением $C_{\text{ПАК}}$ и ростом размеров ПМК все больше пар МГ+Э, локализованных на комплексе, получают возможность образовать разнородные ассоциаты.

Наибольшее увеличение степени разнородной ассоциации наблюдается в полимер-мицеллярных растворах, в которых длина полианионной цепи ПАК составляет 4000 сегментов, а наименьшее для растворов, в которых степень полимеризации ПАК составляет 630 сегментов. Для всей исследуемой области концентраций ПАК наиболее эффективно процесс разнородной ассоциации проходит в полимер-мицеллярных растворах с длиной полианионной цепи ПЭ 4000 сегментов.

Экспериментальные исследования зависимости разнородной ассоциации от концентрации МГ при постоянной концентрации Э показали, что наиболее эффективно процесс разнородной ассоциации в водных растворах осуществляется в области равенства концентраций красителей.

В параграфе §4.3. представлены результаты исследования процессов переноса энергии электронного возбуждения (ПЭЭВ) между молекулами

разнотипных красителей в микрогетерогенных полимер-мицеллярных водных и спиртовых растворах.

Для характеристики эффективности ПЭЭВ в исследованных системах были определены значения теоретического и экспериментального эффективных критических радиусов ПЭЭВ R_0 . Установлено, что возрастание концентрации ПАК приводит к увеличению критического радиуса переноса. При этом наибольшее значение R_0 наблюдается для ПМК со степенью полимеризации ПЭ 250 сегмента при концентрации ПАК 10^{-2} моль/л. Из анализа экспериментальных зависимостей квантового выхода люминесценции донора (Э) от концентрации акцептора (МГ) установлен фрактальный характер распределения взаимодействующих молекул в исследованных растворах. Для исследованных систем наблюдается немонотонный характер зависимости фрактальной размерности (γ) от концентрации ПАК. В области концентрации ПАК до 10^{-4} моль/л значение γ возрастает с ростом концентрации. Это связано с тем, что в этой области концентраций ПАК происходит адсорбция молекул ПЭ, не изменяющая размер комплекса ПАВ-ПЭ. Однако при этом, изменяется расстояние от молекул донора, адсорбированных на мицелле, до молекул акцептора в растворе. Поэтому фрактальная размерность молекул красителей в растворе меняется от 2, характерного для молекул адсорбированных на мицелле, до 3. Для полимер-мицеллярных систем, концентрация ПАК в которых превышает значение 10^{-3} моль/л, наблюдается увеличение размера комплексов и ПЭЭВ происходит вдоль его поверхности, поэтому γ стремиться к 2.

Исследовано концентрационное тушение люминесценции молекул донора молекулами акцептора в полимер-мицеллярных растворах при добавлении этилового спирта. С увеличением концентрации спирта эффективность процессов ПЭЭВ увеличивается. Такая зависимость указывает на нарушение равномерного распределения взаимодействующих

молекул в полимер-мицеллярных растворах при добавлении этанола. Таким образом, с ростом концентрации спирта фрактальная размерность системы уменьшается. При концентрациях спирта ~ 20% фрактальная размерность стремится к 2.

В параграфе §4.4. исследованы спектры флуоресценции молекул Э в микрогетерогенных полимер-мицеллярных растворах.

Из изменения спектров люминесценции Э с ростом концентрации ПАК сделаны выводы об увеличении полярности окружения молекул красителя, а также об увеличении неоднородного уширения уровней молекул Э в полимер-мицеллярном растворе, связанного с флуктуационной перестройкой окружения.

Исследованы зависимости интенсивности флуоресценции молекул Э от интенсивности возбуждающего света. При малых интенсивностях возбуждающего света в полимер-мицеллярных растворах обнаружен эффект насыщения флуоресценции Э. Проведено сравнение эффективностей процесса насыщения флуоресценции красителя в различных полимер-мицеллярных растворах. Установлено, что с увеличением $C_{\text{ПАК}}$ в полимер-

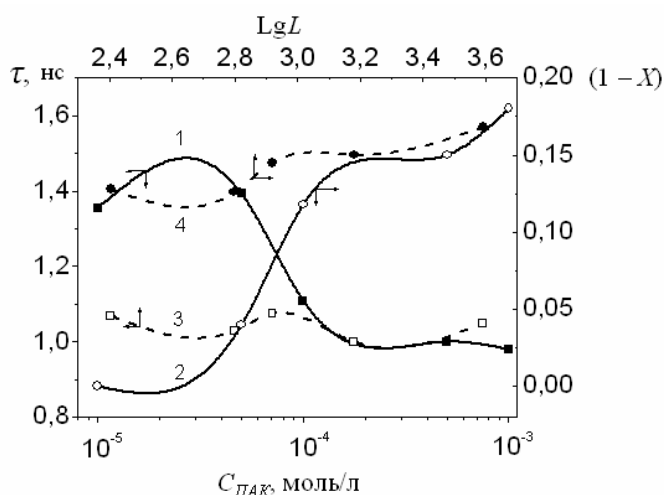


Рис.3 Зависимость времени жизни (1,3 – степень полимеризации ПАК 1510 сегм) и степени ассоциации (2,4 – концентрация ПАК $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) Э от концентрации (1,2) и степени полимеризации (3,4) ПАК в полимер-мицеллярном растворе

мицеллярных растворах насыщение флуоресценции происходит быстрее. В соответствии с теорией нелинейной флуориметрии на процесс насыщения люминесценции могут влиять процессы статического (увеличение числа нелюминесцирующих ассоциатов) и динамического (уменьшение

времени жизни возбужденного состояния) тушения флуоресценции.

Из кривых насыщения люминесценции проведена оценка времени жизни возбужденного состояния Э в микрогетерогенных полимер-мицеллярных растворах. Установлено, что время жизни возбужденного состояния Э с ростом концентрации ПАК уменьшается. Определены значения степени ассоциации Э в полимер-мицеллярных растворах. Зафиксировано увеличение степени ассоциации Э с увеличением концентрации и степени полимеризации ПАК.

В заключительной части диссертации отдельным пунктом вынесены *основные результаты и выводы* работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Методом лазерной корреляционной спектроскопии динамического рассеяния света исследованы процессы формирования полимер-мицеллярных комплексов. Определена зависимость размеров и формы комплексов от концентрации и степени полимеризации полиэлектролита. При больших концентрациях полиэлектролита зафиксировано появление ассоциатов полимер-мицеллярных комплексов.

2. Установлено, что для систем с различными степенями полимеризации и концентрациями полиэлектролита наблюдается различная дисперсия распределения по размерам образующихся комплексов. Обнаружено, что при малых концентрациях и больших степенях полимеризации полиэлектролита наблюдается образование комплексов двух типов с различными средними размерами и дисперсиями их распределения.

3. Показано, что добавление в полимер-мицеллярный раствор этанола, вызывает уменьшение размеров и изменение формы полимер-мицеллярных комплексов.

4. Методом абсорбционной спектроскопии исследовано влияние полиэлектролита на критическую концентрацию агрегации поверхностно-активного вещества в полимер-детергентных комплексах. Установлено, что с

увеличением концентрации и степени полимеризации полиэлектролита происходит стабилизация микрогетерогенных полимер-мицеллярных структур.

5. Исследованы процессы однородной и разнородной ассоциации молекул красителей в полимер-мицеллярных растворах. Установлено влияние структуры микрогетерогенной полимер-мицеллярной системы на эффективность процессов комплексообразования между молекулами однородных и разнородных красителей. Обнаружена неизменность структуры димеров в полимер-мицеллярных растворах красителей.

6. Впервые исследованы процессы переноса энергии электронного возбуждения в полимер-мицеллярных растворах красителей. Показано, что зарегистрированная высокая эффективность процессов переноса энергии электронного возбуждения в таких системах обусловлена существованием фрактальных кластеров с повышенной концентрацией молекул красителя. Установлено, что зависимость фрактальной размерности распределения взаимодействующих молекул в полимер-мицеллярных растворах от концентрации полиэлектролита носит экстремальный характер.

7. Экспериментально исследован эффект насыщения флуоресценции при квазистационарном возбуждении для органических красителей в полимер-мицеллярных растворах. Показано, что увеличение концентрации полиэлектролита в полимер-мицеллярных растворах вызывает рост скорости насыщения флуоресценции органических красителей.

Список работ по теме диссертации:

1. Алексеев Д.Б., Булаков Д.В. Исследования процессов комплексообразования в полимер-мицеллярных системах методом корреляционного рассеяния света. 10-я Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам

“Ломоносов-2003”, секция “Физика”, сборник тезисов докладов, МГУ, 2003, стр. 217-218

2. Булаков Д.В. Влияние концентрации и степени полимеризации полиэлектролита на размеры и форму полимер-мицеллярного комплекса. 3-я Международная конференция молодых ученых и специалистов «Оптика – 2003», Санкт-Петербург, 2003, 20-23 октября, сборник тезисов докладов с. 113-114

3. Алексеев Д.Б. Булаков Д.В. Исследования полимер-мицеллярных систем методами корреляционной спектроскопии динамического рассеяния света. «Современные проблемы физики и высокие технологии», Томск, 2003, 29.09-04.10, сборник тезисов докладов, с.250-253

4. Алексеев Д.Б. Булаков Д.В., Салецкий А.М. Изучение структуры комплекса ПЭ-мицелла методом динамического рассеяния света. Вестник Московского университета, 2004, №5, с.21-23

5. Алексеев Д.Б. Булаков Д.В., Салецкий А.М. Лазерная корреляционная спектроскопия полимер-мицеллярных систем. Труды 4-ой международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2005», Санкт-Петербург, 2005 17.10 – 21.10. сборник тезисов докладов, с.250-252

6. Булаков Д.В. , Салецкий А.М. Применение лазерной корреляционной спектроскопии в исследованиях полимер-мицеллярных комплексов. Третья международная конференция «Фундаментальные проблемы физики», Казань, сборник тезисов докладов, 2005, сборник тезисов докладов, с. 214

7. Алексеев Д.Б. Булаков Д.В. Спектрально-люминесцентные методы исследования полимер-детергентных систем. Труды 4-ой международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2005», Санкт-Петербург, 2005, 17.10 – 21.10. сборник тезисов докладов, с.323

8. Булаков Д.В. Исследование фотофизических процессов в полимер-мицеллярных системах. 4-ый Международный конгресс «Оптика – 21 век».

Сборник трудов научной молодежной школы Оптика –2006, сборник тезисов докладов, с. 4-6

9. Bulakov D.V. Saletsky A.M. The study of structure and photophysical processes of polyelectrolyte-surfactant-dye molecules complex by laser spectroscopy. *Laser Physics Letters*, 2007, v. 4, № 7, p. 515-519

10. Булаков Д.В. Влияние структуры молекулярной системы на процессы переноса энергии электронного возбуждения между молекулами эозина и метиленового голубого в водно-полиэлектrolитном и полимер-мицеллярном растворах. Тринадцатая Всероссийская Научная конференции студентов–физиков и молодых учёных. Ростов-на-Дону – Таганрог, 2007, 20.04. –26.04, Материалы конференции. Информационный бюллетень, с. 389-390

11. Булаков Д.В., Салецкий А.М. Спектрально-люминесцентные исследования ассоциации однородных и разнородных молекул красителей в коллоидных растворах полиэлектролитов. 14 –я Всероссийская конференция «Структура и динамика молекулярных систем», Яльчик -2007, сборник тезисов докладов, с. 42

12. Булаков Д.В. Ассоциация однородных и разнородных молекул ионных красителей в полимер-мицеллярных растворах. 14-я Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам “Ломоносов-2007”, секция “Физика”, сборник тезисов докладов, МГУ, 2007, стр. 136

13. Bulakov D.V. Saletsky A.M. Laser correlation spectroscopy of polyelectrolyte – surfactant complex. International conference on Laser Applications in Life Sciences, Moscow, 2007, 11.06 – 15.06, (TuL01P5), p.42

14. Булаков Д.В., Салецкий А.М. Димеризация молекул метиленового голубого в микроструктурированных полимер-мицеллярных растворах. Журнал прикладной спектроскопии, 2007, т. 74, № 4, с.540-543