

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



Раздобреев Дмитрий Анатольевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОВОССТАНОВЛЕНИЯ
ТИАЗИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ В МАТРИЦЕ
ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА
СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ
И ГОЛОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ**

Специальность 02.00.21 – Химия твердого тела

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени

кандидата химических наук

Санкт-Петербург

2004 г.

Работа выполнена в Институте микро- и нанотехнологий Оренбургского государственного университета

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук, доцент Лантух Юрий Дмитриевич

Официальные оппоненты:

доктор химических наук, профессор Михайлов Михаил Дмитриевич

кандидат физико-математических наук Курочкин Алексей Викторович

Ведущая организация: Институт биохимической физики
им. Н.М. Эмануэля РАН

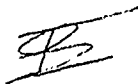
Защита состоится 23 декабря 2004 г. в 15:00 на заседании Диссертационного совета Д212.232.41 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора химических наук при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: Средний проспект В.О., д. 41, 199004 Санкт-Петербург.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке им. А.М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета.

Замечания и отзывы по данной работе в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: Средний проспект В.О., д. 41, 199004 Санкт-Петербург, СПбГУ, Ученый совет.

Автореферат разослан « 15 » ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



М. Д. Бальмаков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Тиазиновые красители и соединения на их основе поглощают свет в области длин волн 500 – 700 нм и в настоящее время широко используются как:

генераторы синглетного кислорода при фотодинамической терапии;

инициаторы фотополимеризации;

светочувствительный компонент для записи в полимерных пленках высокоэффективных фазовых голограмм He-Ne лазером;

преобразователи солнечной энергии в фотохимических солнечных батареях.

Всё это свидетельствует о необходимости детального изучения как фотофизических, так и фотохимических свойств тиазиновых красителей.

Наиболее характерной фотохимической реакцией для данных соединений является фотовосстановление. Это двухстадийный процесс. При переходе одного электрона от молекулы донора образуется полувосстановленный краситель – семихинон, имеющий природу радикала. Переход второго электрона и протона приводит к образованию лейкокрасителя, соединения устойчивого при отсутствии окислителей.

Процесс образования семихинона красителя в жидких средах исследовался в микросекундном диапазоне времени методом импульсного фотолиза. Образование лейкокрасителя – более медленный процесс, который контролируется диффузией, так как в жидкости образование лейкоформы красителя происходит по реакции дисмутации при встрече двух молекул семихинона.

Влияние на процесс фотовосстановления таких факторов как интенсивность облучения, диффузионная подвижность среды, концентрация добавленного донора электронов в случае твердых растворов тиазиновых красителей в полимере изучалось ранее. Однако, полной ясности в механизме фотовосстановления тиазиновых красителей в твердых пленках до сих пор нет.

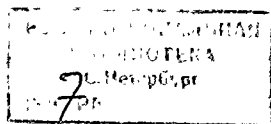
Основной целью настоящей работы являлось установление механизма фотобесцвечивания тиазиновых красителей в твердой пленке поливинилового спирта.

Поливиниловый спирт (ПВС) в качестве матрицы был выбран по следующим причинам:

ПВС является донором необходимых для фотовосстановления красителя электронов и протонов;

твердый ПВС – кислородонепроницаемая среда, что позволяет избежать процесса окисления красителя и продуктов его фотовосстановления;

твердый ПВС – широко применяемая среда для записи оптической информации.



Методы исследования. Для изучения системы краситель – поливиниловый спирт применялись спектрофотометрический и голографический методы в комбинации с кинетическими измерениями. Фотообесцвечивание красителя происходило под действием излучения He-Ne лазера ($\lambda = 633$ нм).

Научная новизна работы включает следующие основные результаты:

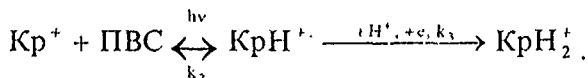
1. Предложен механизм фотовосстановления мономера тионина в пленке поливинилового спирта.
2. Изучено влияние ассоциатов на кинетику фотовосстановления тионина. Получены квантовые выходы реакции для димерных молекул.
3. Определено число фотонов, необходимых для фотовосстановления одной молекулы димера тионина.
4. Обнаружен эффект кинетической неэквивалентности в случае фотовосстановления димерных молекул тионина.
5. Определены коэффициенты самодиффузии в пленках поливинилового спирта, пластифицированных глицерином.

Практическая значимость результатов

1. Знание фотохимических свойств систем краситель-полимер позволит разработать новые среды с заданными физико-химическими параметрами. Это может быть использовано при создании носителей оптической информации с повышенной плотностью записи.
2. Данные по коэффициентам самодиффузии в твердом полимере позволят управлять процессом самопроизвольного стирания информации, записанной оптическим методом.
3. Результаты, полученные при изучении фотовосстановления тиазиновых красителей, позволят контролировать процесс нежелательного фотообесцвечивания сенситизатора при лечении онкозаболеваний методом фотодинамической терапии.
4. Учет выявленных факторов, влияющих на скорость процесса фотовосстановления красителя в полимерной матрице, позволит увеличить светостойкость окрашенных материалов.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Фотовосстановление неагрегированного тионина в твердом поливиниловом спирте схематично описывается цепочкой реакций:



2. Кинетика фотообесцвечивания димера тионина описывается биекспоненциальной зависимостью.

3. Фотовосстановление димера тионина – однофотонная реакция.
4. При фотовосстановлении димеров тионина проявляется эффект кинетической неэквивалентности димерных молекул красителя.
5. Наряду с фотовосстановлением в пленках поливинилового спирта происходит темновое (без участия света) восстановление тиазиновых красителей.

Публикации. Основные результаты проведенных исследований опубликованы в 6 печатных работах [1-6].

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались на:

- a) VII Международной конференции “Лазерные и лазерно-информационные технологии: фундаментальные проблемы и приложения”, Владимир, 22-26 июня 2001 г.
- b) II Международной конференции «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии», Кисловодск, 13-18 октября 2002 г.
- c) III Международной конференции «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии», Кисловодск, 14-19 сентября 2003 г.
- d) Всероссийской конференции «Лазеры для медицины, биологии и экологии», Санкт-Петербург, 15-16 января 2004 г.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение

Обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, отражены научная новизна и практическая значимость результатов.

Глава 1. Общая характеристика химических, фотохимических и спектральных свойств тиазиновых красителей

Приведен краткий обзор литературы, посвященной анализу ионных и молекулярных форм тиазиновых красителей в жидких растворах. Отмечаются особенности протекания химических реакций в твердом полимере, которые обусловлены малой диффузионной подвижностью реагентов и их расположением в полимерной матрице. Обсуждаются известные ранее работы по фотовосстановлению красителей в полимерных пленках.

Глава 2. Экспериментальные методы исследования

Описаны экспериментальные методики и методика приготовления образцов. Рассмотрены два различных подхода к определению взаимосвязи между концентрацией и спектром поглощения ассоциированных молекул красителя.

Глава 3. Спектрофотометрическое исследование водных и поливинилспиртовых растворов тионина и метиленовго голубого в ультрафиолетовой и видимой областях спектра

В данной главе подробно рассмотрен метод расчета коэффициентов экстинкции димерной формы красителя. Для водного раствора получены коэффициенты экстинкции мономера и димера тионина (ТН^+) в видимой области спектра. В случае метиленовго голубого определен спектр поглощения димера в видимой и ультрафиолетовой полосах поглощения.

При сравнении спектров в ультрафиолетовой и видимой области сделан вывод о протекании реакции темнового восстановления красителя в матрице поливинилового спирта при формировании пленки и хранении образца. Наличие лейкотионина, образовавшегося в результате темнового восстановления, спектрально не обнаруживается в пластифицированных глицерином пленках ПВС. Это позволяет получить спектры поглощения мономеров и димеров тионина в твердых пленках ПВС – глицерин (Рисунок 1).

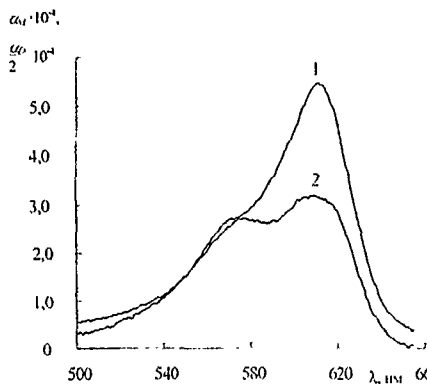


Рисунок 1. Спектр поглощения мономерной – (1) и димерной – (2) формы тионина в поливинилово-м спирте, пластифицированном глицерином

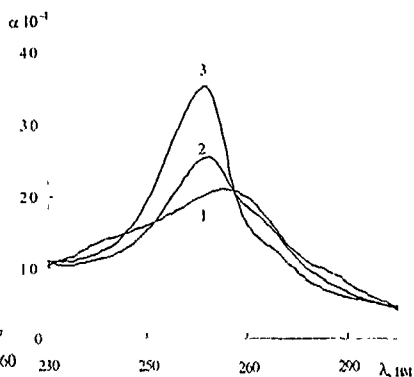


Рисунок 2. Спектры поглощения полностью обесцвеченных пленок ТН^+ -ПВС с исходной концентрацией красителя $C_{кр}$, моль/л: $1,73 \cdot 10^{-3}$ – (1), $2,34 \cdot 10^{-3}$ – (2), $3,42 \cdot 10^{-3}$ – (3)

На основе спектров поглощения получены данные о геометрической структуре димеров тиазиновых красителей. Так, угол между плоскостями молекул, образующих димер (ω), равен: для водного раствора тионина – 16° , для поливинил-

спиртового раствора – 43°. Для водного раствора метиленового голубого угол $\omega = 7^\circ$.

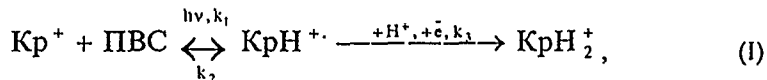
Показано, что константа диссоциации димера тионина в водном растворе $k_{\text{TH}} = 2,7 \cdot 10^{-4}$ меньше, чем в поливинилспиртовом растворе $k_{\text{TH}}^{\text{ПВС}} = 3,9 \cdot 10^{-3}$.

В твердых пленках ПВС – TH^+ после облучения светом спектрально обнаружено присутствие лейкодимера тионина (Рисунок 2). Из рисунка видно, что с увеличением концентрации TH^+ в пленке максимум $\lambda = 266$ нм, преобладающий в разбавленных растворах красителя, уменьшается, а поглощение в коротковолновом крыле ($\lambda_{\text{max}} = 261$ нм), характерное для высококонцентрированных растворов, наоборот, растет. Аналогичные изменения формы спектров в видимой области происходят в водных растворах и свидетельствуют о наличии ассоциированных молекул красителя. При нагреве пленки, содержащей лейкодимер тионина, выше температуры стеклования ПВС ($t_{\text{ст}} = 350$ К) становится возможной реакция распада лейкодимера. Это фиксируется по спектрам поглощения образца, полученным после прогрева при температуре 80 °С.

Глава 4. Фотовосстановление тионина и метиленового голубого в пленках поливинилового спирта под действием He-Ne лазера

Показано, что присутствие в пленках ассоциатов красителей приводит к более быстрому обесцвечиванию образца на начальной стадии процесса. В случае метиленового голубого (Mg^+) наряду с влиянием на кинетику его фотовосстановления ассоциатов установлено протекание параллельного процесса деметилирования молекул Mg^+ .

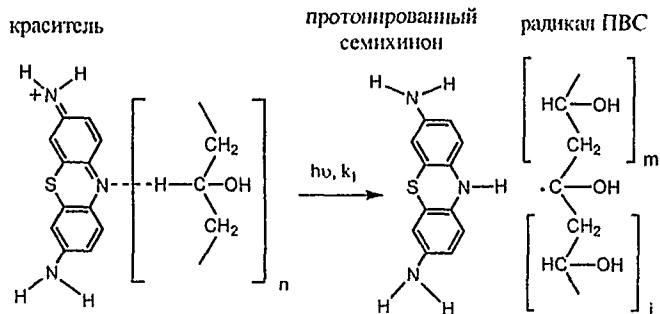
Предложено процесс фотовосстановления неассоциированного тионина описывать цепочкой реакций:



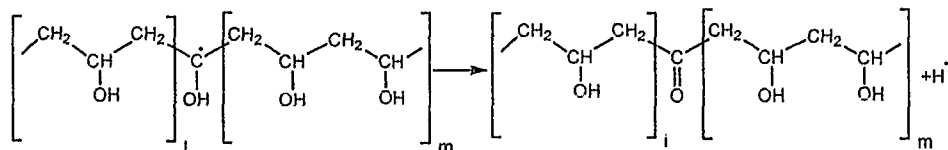
где Kp^+ – краситель в основном состоянии; $\text{KpH}^{+\cdot}$ – протонированный семихинон красителя; KpH_2^+ – протонированная лейкоформа красителя; k_1 – константа скорости образования протонированного семихинона красителя; k_2 – константа скорости регенерации красителя из протонированного семихинона; k_3 – константа скорости образования протонированной лейкоформы красителя.

С учетом того, что краситель в пленке скоординирован водородными связями с полимерными цепями, в том числе и с наиболее реакционноспособным α -атомом водорода (по отношению к гидроксогруппе) спирта, схема процесса образования лейкокрасителя представляется следующей (Рисунок 3):

Образование протонированного семихинона



Распад радикала ПВС



Образование протонированной лейкоформы красителя

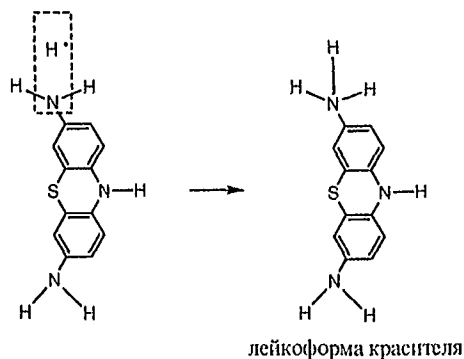


Рисунок 3. Схема процесса образования протонированной лейкоформы красителя

фотовозбуждение молекулы тионина приводит к переносу электрона и протона от полимерной цепи спирта к красителю. При этом образуется протонированный семихинон тионина и радикал ПВС. Образование из радикала ПВС более стабильной структуры происходит с выделением атома водорода, который, вследствие

ствие нахождения в непосредственной близости от протонированного семихинона восстанавливает его до лейкокрасителя.

Для последовательности реакций (I) изменение концентрации красителя во времени описывается биэкспоненциальной зависимостью:

$$C(t) = C_0 \cdot [(1 - \theta) \cdot e^{-\tau_1 t} + \theta \cdot e^{-\tau_2 t}],$$

где $C(t)$ – текущая концентрация красителя в образце; C_0 – начальная концентрация красителя в образце; τ_1, τ_2 – кинетические параметры реакции фотовосстановления; θ – доля красителя, обесцвetingившегося по экспоненте с показателем τ_2 .

Модельные расчеты показали, что данная схема адекватно описывает кинетические кривые фотовосстановления мономерного тионина в зависимости от различных факторов: интенсивности облучения, диффузионной подвижности среды, начальной концентрации мономера красителя в пленке.

Если учесть, что кинетические параметры реакции фотовосстановления τ_1 и τ_2 равны:

$$\tau_1 = \frac{(k_1 + k_2 + k_3)}{2} - \sqrt{\frac{(k_1 + k_2 + k_3)^2}{4} - (k_1 \cdot (k_2 + k_3) - k_2 \cdot k_1)},$$

$$\tau_2 = \frac{(k_1 + k_2 + k_3)}{2} + \sqrt{\frac{(k_1 + k_2 + k_3)^2}{4} - (k_1 \cdot (k_2 + k_3) - k_2 \cdot k_1)},$$

то можно найти константы скоростей соответствующих реакций схемы (I), которые приведены в таблице 1.

Константа фотохимической реакции k_1 в условиях оптически тонкого слоя ($D \ll l$) должна линейно зависеть от интенсивности облучающего света:

$$k_1 = \frac{2303 \cdot \varepsilon \cdot \Phi_{\text{кпл}} \cdot \lambda \cdot I_0}{c \cdot h \cdot N_A},$$

где c – скорость света; h – постоянная Планка; N_A – число Авогадро; ε – коэффициент экстинкции красителя на длине волны He-Ne лазера; λ – длина волны активного излучения; I_0 – интенсивность облучающего света.

Рассчитанные из экспериментальных кривых значения константы k_1 при различных интенсивностях излучения He-Ne лазера показали линейную зависимость k_1 от I_0 . Это позволило определить квантовый выход реакции образования протонированного семихинона тионина в пленке ПВС, который составил $\Phi_{\text{кпл}} = (3,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$.

Константы k_2 и k_3 – константы химических реакций, т.е. не зависят от интенсивности облучения образца. Статистический анализ позволил установить, что $k_2 = (3,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, $k_3 = (2,9 \pm 0,6) \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

Спектр поглощения промежуточного продукта, возникающего при облучении пленки ТН⁺ – ПВС ($\lambda=720\div880$ нм), совпадает с известным из литературных данных спектром поглощения протонированного семихинона тионина. Кроме того, поглощение, соответствующее промежуточному продукту, уменьшается после прекращения облучения по экспоненциальной зависимости с константой $k_d \approx 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, что также согласуется с предложенным механизмом.

Таблица 1.

Кинетические параметры реакции фотовосстановления тионина
при различных интенсивностях облучения

Интенсивность света, I_0 , Вт/см ²	Кинетические параметры, 10^{-4}		Константы скорости, $10^{-3}, \text{ с}^{-1}$		
	r_1	r_2	k_1	k_2	k_3
0,38	9,6	98	2,9	3,6	3,2
0,64	11,5	110	5,3	3,3	2,4
0,76	11,7	120	5,7	3,8	2,5
1,53	20,0	230	13,0	3,7	3,5

Экспериментально установлен биэкспоненциальный характер кинетики реакции фотообесцвечивания димера тионина (Рисунок 4). Из рисунка также видно, что:

- в начальный момент времени скорость фотообесцвечивания димера тионина (наклон кинетической кривой) не зависит от его начальной концентрации;
- наклон второго линейного участка кинетической кривой фотовосстановления уменьшается с ростом исходной концентрации димера. Для пленки с меньшим содержанием димера фотовосстановление заканчивается за ≈ 200 с, концентрация за это время уменьшается в шесть раз. Для пленки с большим содержанием димера за 200 с обесцвечивается менее 50 % красителя.

Подобные факты могут быть объяснены различиями в расположении молекул тиазиновых красителей в полимерной матрице (Рисунок 5, 6). Для фотовосстановления неблагоприятно скоординированного с полимерными цепями красителя (Рисунок 6) необходим приток донорных групп. Так как подвижность полимерных цепей при комнатной температуре достаточно мала, то фотовосстановление такого красителя будет протекать гораздо медленнее.

В пластифицированных пленках ТН⁺ – ПВС, где коэффициент диффузии полимерных цепей может возрастать на порядок, кинетические кривые фотовосстановления мономерного и димерного красителя линейризуются в полулогарифмических координатах. Этот факт косвенно подтверждает выдвинутые ранее предположения о различных типах координации красителя с цепями ПВС.

Установлено, что скорость фотовосстановления димера тионина на начальном участке кинетической кривой линейно зависит от интенсивности облучающего света (Рисунок 7). Это свидетельствует об однофотонности реакции фотовосстановления димера тионина.

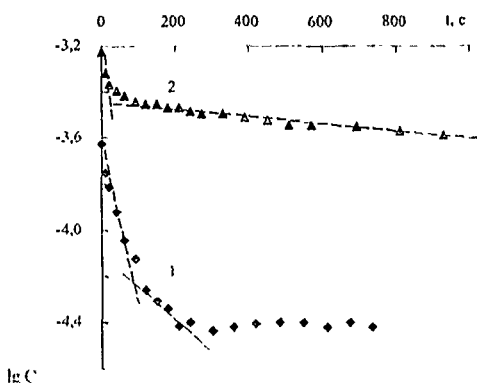


Рисунок 4. Кинетика фотовосстановления димера тионина: $C_0 = 2,37 \cdot 10^{-4}$ моль/л – (1); $C_0 = 5,96 \cdot 10^{-4}$ моль/л – (2)

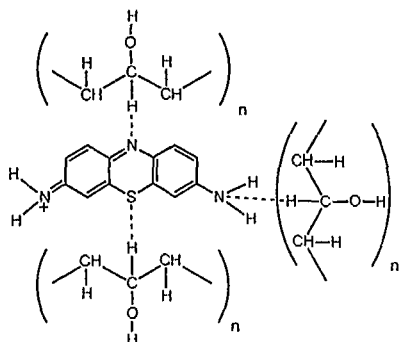


Рисунок 5. Краситель, координированный с α -атомом водорода полимерной цепи

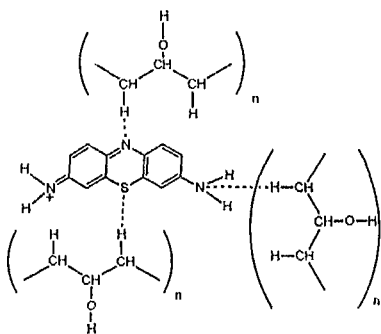


Рисунок 6. Краситель, координация которого с цепями ПВС затрудняет протекание реакции фотовосстановления

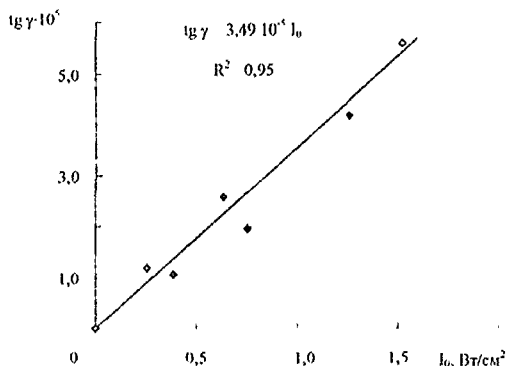


Рисунок 7. Зависимость скорости фотовосстановления димера тионина от интенсивности падающего света

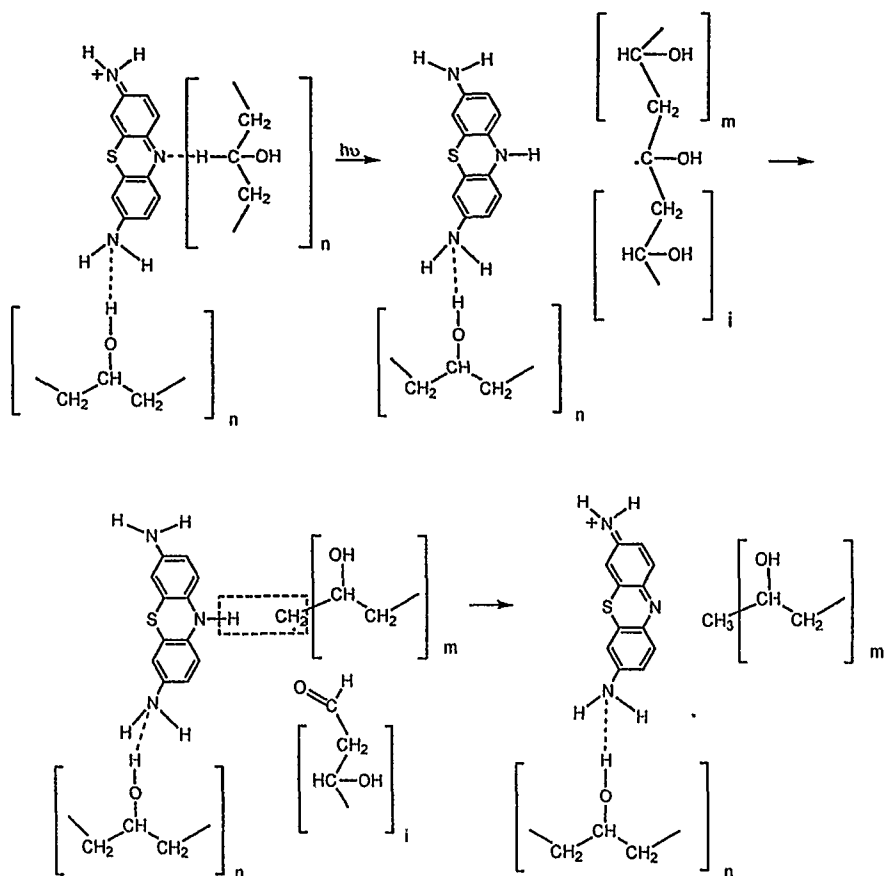


Рисунок 8. Схема образования частично скоординированного с цепями ПВС красителя в результате его неполного восстановления и последующей регенерации

Определен квантовый выход реакции фотовосстановления мономера тионина $\Phi = (3,3 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$. Найдено, что в случае фотовосстановления димера тионина значение Φ изменяется при варьировании интенсивности облучающего света. При интенсивностях менее $0,5 \text{ Вт/см}^2$ квантовый выход фотовосстановления димера становится больше, чем квантовый выход фотовосстановления мономера, который не зависит от интенсивности облучающего He-Ne лазера. Сложный характер зависимости $\Phi = f(I_0)$, наблюдаемой при фотообесцвечивании димера тионина, мо-

жет быть обусловлен меньшей реакционной способностью регенерировавшего из семихинона красителя. На схеме (Рисунок 8) показан возможный способ образования красителя, частично скоординированного с α -атомом водорода полимерной цепи. Этот процесс состоит из трех стадий:

- стадия частичного восстановления красителя, приводящая к образованию протонированного семихинона и радикала ПВС;
- стадия распада радикала ПВС, приводящая к образованию структуры с концевой альдегидной группой и к другим радикальным продуктам;
- стадия регенерации красителя из протонированного семихинона образовавшимися радикальными продуктами.

Как показывают модельные расчеты, с увеличением интенсивности облучения количество регенерировавшего из семихинона красителя возрастает.

Глава 5. Применение голографического метода для изучения процесса фотовосстановления тионина в пленках поливинилового спирта

В целях проверки предложенного механизма фотовосстановления тионина в матрице ПВС было проведено исследование кинетики его фотообесцвечивания при низких интенсивностях облучающего лазера ($I_0 \sim 10^{-3}$ Вт/см²) в оптически тонких слоях ($D_0 < 1$). Как показали модельные расчеты, в таких условиях изменение концентрации красителя от времени описывается моноэкспоненциальной зависимостью. Обычное фотометрическое детектирование в данном случае невозможно из-за недостаточной чувствительности. Вследствие этого был применен голографический метод, который заключался в записи и одновременном считывании амплитудной фотохимической голограммы – решетки. Информация о механизме процесса фотовосстановления красителя содержалась в кинетической кривой формирования голограммы. Кинетика записи голографической решетки исследовалась на начальном участке. Экспериментальные результаты подтвердили предложенный ранее механизм (кинетика записи голограммы линейризовалась в координатах $\sqrt{I} = f(t)$, где η – дифракционная эффективность голограммы) и позволили определить квантовый выход реакции образования протонированного семихинона тионина в условиях оптически тонкого слоя. Полученное значение квантового выхода $\Phi_{\text{кпн}} = 4,9 \cdot 10^{-5}$ коррелирует с результатом, полученным из фотометрических данных.

Установлено, что фотохимические голограммы, записанные в пленках ПВС и ПВС – глицерин, исчезают (стираются) после прекращения записи. Время, за которое происходит стирание голографической решетки, зависит от количества пластификатора в образце. Такое стирание фотохимических голограмм в твердом ПВС обусловлено сегментальной подвижностью полимерных цепей. Это дает

возможность определить коэффициенты самодиффузии фрагментов цепи полимера по кинетике релаксации голографической решетки. Полученные из экспериментальных данных значения коэффициентов диффузии сегментов полимерных цепей в пленках $\text{ТН}^+ - \text{ПВС}$ и $\text{ТН}^+ - \text{ПВС} - \text{глицерин}$ с различной массовой долей глицерина приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Коэффициенты самодиффузии полимерных цепей в пленках ПВС с различным содержанием глицерина

Доля глицерина в пленке, φ	Коэффициент диффузии, $D \cdot 10^{12}, \text{см}^2/\text{с}$	$-\lg D$
0,34	448,0	9,3
0,10	63,0	10,2
0,04	6,8	11,2
0,02	3,4	11,5
0	0,9	12,1

Установлено, что при увеличении доли пластификатора в пределах от 2 до 10 %, значение коэффициента диффузии изменяется по экспоненциальному закону (Рисунок 9).

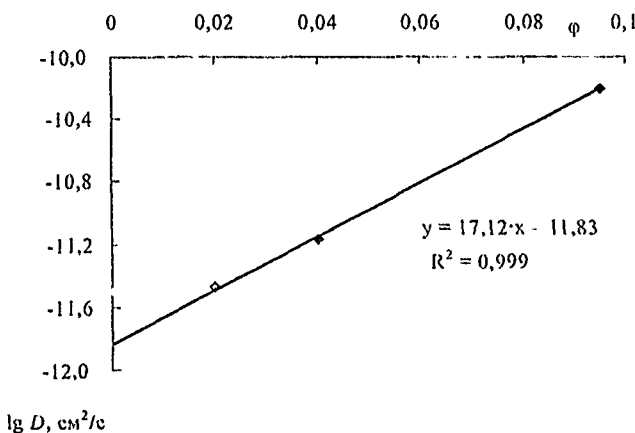
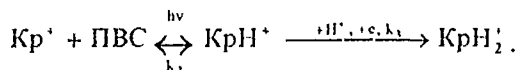


Рисунок 9. Зависимость логарифма коэффициента диффузии поливинилового спирта D от массовой доли глицерина в образце φ

ВЫВОДЫ

1. Показано, что фотовосстановление тионина в твердом поливиниловом спирте схематично описывается цепочкой реакций:



Получены уравнения, описывающие изменение концентрации красителя во времени. Определены квантовый выход образования протонированного семихинона тионина $\Phi_{\text{КрН}} = 3,6 \cdot 10^{-5}$, константы скорости $k_2 = (3,60 \pm 0,26) \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, $k_3 = (2,93 \pm 0,56) \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

2. Установлено, что и мономеры и димеры тионина в пленках поливинилового спирта фотообесцвечиваются по биэкспоненциальному закону. В пластифицированных глицерином пленках фотообесцвечивание мономера и димера протекает по моноэкспоненциальному закону, вследствие увеличения диффузионной подвижности среды.
3. Определено число фотонов, необходимых для фотовосстановления одной молекулы димера тионина.
4. Наряду с фотовосстановлением в пленках поливинилового спирта обнаружено темновое (без участия света) восстановление тиазиновых красителей.
5. Доказано, что в процессе обесцвечивания метиленового голубого наряду с фотовосстановлением красителя протекают параллельные процессы деметилирования молекул Mg^+ .
6. Получены спектры поглощения мономерной и димерной формы тионина в воде и пленках поливинилового спирта. Для водного раствора метиленового голубого, спектры поглощения мономеров и димеров определены в ультрафиолетовой и видимой областях спектра.
7. Установлено, что квантовый выход фотовосстановления димера тионина изменяется при варьировании интенсивности облучающего света, и в некоторых случаях может превышать квантовый выход фотовосстановления мономера, который не зависит от интенсивности He-Ne – лазера и равен $\Phi = (3,3 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$.
8. Определены коэффициенты диффузии поливинилового спирта в пленках ТН^+ – ПВС и ТН^+ – ПВС – глицерин, с различной массовой долей глицерина. Установлено, что при увеличении доли пластификатора в пределах от 2 до 10 % значение коэффициента диффузии изменяется по экспоненциальному закону.
9. Спектрально обнаружено присутствие лейкодимера тионина в пленке поливинилового спирта после её облучения He-Ne лазером.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОПУБЛИКОВАНО
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

Статьи

1. *Lantukh Yu.D., Letuta S.N., Pashkevitch S.N., Razdobreev D.A.* Holographic recording in solid solutions of methylene blue // *Proceedings of SPIE*. 2001. N 4644. P. 491-496.
2. *Раздобреев Д. А., Лантух Ю.Д., Стряпков А.В., Паишевич С.Н., Алиджанов Э.К.* Спектры поглощения и константы диссоциации димерных форм тиазиновых красителей // *Вестник ОГУ*. 2004. №2. С.144-146.

Тезисы докладов

3. *Лантух Ю.Д., Летута С.Н., Паишевич С.Н., Раздобреев Д. А.* Голографическая запись в твердых растворах метиленового голубого // VII Международная конференция "Лазерные и лазерно-информационные технологии: фундаментальные проблемы и приложения": тез. докл. Владимир, июнь 2001. С.130.
4. *Раздобреев Д.А., Лантух Ю.Д., Стряпков А.В., Кеце Г.А., Паишевич С.Н., Летута С.Н.* Моделирование процессов оптической записи информации в полимерных системах, активированных красителем метиленовым голубым // Международная конференция «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии»: тез. докл. Кисловодск, октябрь 2002. С. 233-234.
5. *Лантух Ю.Д., Раздобреев Д.А., Летута С.Н., Паишевич С.Н., Алиджанов Э.К.* Диффузия в пластифицированных полимерах // III Международная конференция «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии»: тез. докл. Кисловодск, сентябрь 2003. С.200-201.
6. *Раздобреев Д.А., Лантух Ю.Д., Стряпков А.В.* Исследование фотообесцвечивания тионина под действием излучения He-Ne лазера // Конференция «Лазеры для медицины, биологии и экологии»: тез. докл. Санкт-Петербург, январь 2004. С. 7-8.

Лицензия № ЛР020716 от 02.11.98.

Подписано в печать 04.11.2004 г.

Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Бумага писчая.

Усл.печ. листов 1,0. Тираж 100. Заказ 706

ИПК ГОУ ОГУ

460352 г. Оренбург ГСП пр. Победы, 13
Государственное образовательное учреждение
«Оренбургский государственный университет»

РНБ Русский фонд

2007-4

16835

19 НОЯ 2004

