Комплексообразование некоторых оксазиновых красителей в водных растворах поверхностно-активных веществ

А.Ш. Ярмухамедов, Э.Н. Курталиев*, А.А. Джамалова, Н. Низомов, Ф. Салахитдинов

Самаркандский государственный университет им. Ш. Рашидова, Университетский бульвар, 15, 140104, Самарканд, Узбекистан

Received 05.08.2022, revised 09.09.2022

* Corresponding author: e-mail kurtaliev@rambler.ru, Phone: +998 90 606 43 98

Методами стационарной и время-разрешенной флуоресцентной спектроскопии изучено комплексообразование красителей нильского синего ацетата (НСА) и оксазина 1 (ОК1) с додецилсульфатом натрия (ДДС) и Тритоном Х-100 (ТХ-100). Установлено, что при введении предмицеллярных концентраций ДДС в растворе образуются ионные пары между НСА и ДДС с последующим переходом в нелюминесцирующие димеры. На основе квантово-химических расчетов и измерения времени жизни возбужденного состояния показано, что молекулы красителей взаимодействуют с ДДС и ТХ-100 как с внутренней частью мицеллы посредством гидрофобных взаимодействий, так и с внешней поверхностью мицелл за счет электростатического взаимодействия. Установлено, что растворы образовавшихся комплексов краситель-ПАВ более стабильны по сравнению с водными растворами этих же красителей.

Ключевые слова: оксазиновые красители, поверхностно-активные вещества, поглощение, флуоресценция, фотостабильность, время жизни возбужденного состояния, межмолекулярные взаимодействия.

The complex formation of Nile blue acetate (NSA) and oxazine 1 dyes with sodium dodecyl sulfate (SDS) and Triton X-100 (TX-100) has been studied by the steady state and picosecond resolved fluorescence spectroscopic techniques. It was found that in the premicellar region of SDS, ion-pair are formed in solution between NSA and SDS molecules with subsequent transition to non-luminescent dimers. Based on quantum-chemical calculations and measurement of the excited state lifetime, it is shown that molecules of dyes interact with SDS and TX-100 both with the inner non polar part of the micelle through hydrophobic interactions and with the surface of the micelles due to electrostatic interaction. It has been found that solutions of the dye-surfactant complexes are more stable compared to aqueous solutions.

Keywords: oxazine dyes, surfactants, absorption, fluorescence, photostability, excited state lifetime, intermolecular interactions.

DOI: PACS number(s): 00.00.Xx, 00.00.Xx

I. Введение

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) широко используются в различных областях науки и техники, в частности, в текстильной промышленности [1], фармацевтике [2], аналитической химии [3, 4]. Схожесть ПАВ по структуре с мембранами делает их привлекательными и удобными модельными средами для изучения и решения большинства медико-биологических задач [5, 6]. Введение ПАВ в растворы органических красителей приводит к резким изменениям абсорбционно-флуоресцентных свойств последних, например, в спектрах может наблюдаться рост интенсивности поглощения и флуоресценции, смещение их максимумов [7, 8], изменение времени жизни возбуж-

денного состояния и других параметров [9-11]. Детальное изучение этих характеристик приводит к более глубокому пониманию механизмов взаимодействия красителей с молекулами ПАВ с целью дальнейшего расширения их практического применения. Эффективное использование ПАВ и органических красителей при решении практических задач требует подробного исследования их спектрально-оптических характеристик.

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния ПАВ на спектрально-флуоресцентные и фотохимические свойства водных растворов некоторых оксазиновых красителей.

II. Материалы и методы исследования

В работе использованы два оксазиновых красителя: нильский синий ацетат (НСА) и оксазин 1 (ОК1) марки «ХЧ», структурные формулы которых приведены на рис. 1.

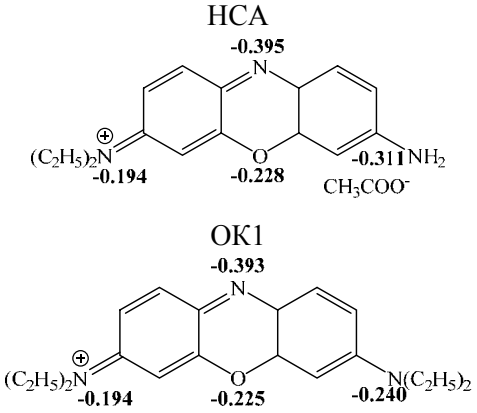


Рисунок 1. Структурные формулы НСА и ОК1.

В качестве ПАВ использовали анионоактивный додецилсульфат натрия (ДДС) и не ионный Тритон Х-100 (ТХ-100). В качестве растворителя использовали дистиллированную воду.

Электронные спектры поглощения измеряли на спектрофотометре Specord 50 SA (Analytikjena, Германия), позволяющем проводить измерения в диапазоне 190–1100 нм. Спектры флуоресценции и кинетику затухания флуоресценции измеряли на время-разрешающем спектрометре FluoTime 300 (PicoQuant, Германия). Время жизни флуоресценции измеряли методом счета одиночных фотонов с помощью модуля сбора данных TimeHarp 260 TCSPC, который обеспечивает высокое временное разрешение. Измерения проводили при возбуждении образцов диодным лазером LDH-P-C-640B с $\lambda_{возб}$=640 нм и длительностью импульса 50 пс.

Сигнал флуоресценции регистрировали с помощью микроканального фотоэлектронного умножителя PMA-C 192-M в области максимума флуоресценции образцов. Функция отклика прибора составляла 180 пс. Полученные данные обрабатывали в рамках экспоненциальной модели с применением процедуры обратной свертки, используя пакет программ FluoFit. Аппроксимацию кривых затухания проводили по величине взвешенного среднеквадратичного отклонения χ^2 ($\chi^2 \leq 1.4$).

При исследовании фотостабильности растворов выбранных красителей их облучали нефильтрованным светом ртутно-кварцевой лампы ПРК-2. Мощность пучка света, падающего на рабочий объем кюветы с раствором, была равна 60 мВт. Растворы облучали на расстоянии 15 см от лампы. Все измерения проводили при комнатной температуре (297 К).

Квантово-химический расчет распределения зарядов на атомах молекул исследованных соединений проводился с помощью пакета программы MOPAC2016 полуэмпирическим методом AM1 со стандартным набором параметров [12]. Предварительно была проведена оптимизация геометрии молекул с использованием ограниченного метода Хартри-Фока и алгоритма Полак-Рибиера с точностью 0.001 ккал/(Å×моль) и учетом различных вариантов исходных конформаций [13].

III. Результаты и обсуждение

Анализ концентрационной зависимости спектров поглощения и флуоресценции красителей НСА и ОК1 в водном растворе показал, что в интервале концентраций 10^{-6}–10^{-5} М форма спектров поглощения и флуоресценции остается постоянной. Это свидетельствует о том, что молекулы красителей в данном интервале концентрации находятся в мономерной форме.

Влияние ПАВ рассматривалось в широкой области, ниже и выше критической концентрации мицеллообразования (ККМ). На рис. 2 представлены спектры поглощения и флуоресценции НСА в воде при добавлении различных концентраций ДДС. Кривая 1 (рис. 2а) соответствует полосе поглощения катионной формы красителя НСА с $\lambda_{макс}$=635 нм. При добавлении ДДС (c=2×10^{-3} М) в спектре поглощения наблюдается резкое уменьшение полосы с максимумом $\lambda_{макс}$=635 нм и появление со стороны коротких длин волн новой широкой полосы с $\lambda_{макс}$=590 нм. С увеличением концентрации ДДС до ККМ (для ДДС $C_{ККМ}$=8×10^{-3} М)

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

наблюдаются две полосы поглощения с $\lambda_{макс.}$= 590 нм и $\lambda_{макс.}$=635 нм (рис. 2, кривая 5).

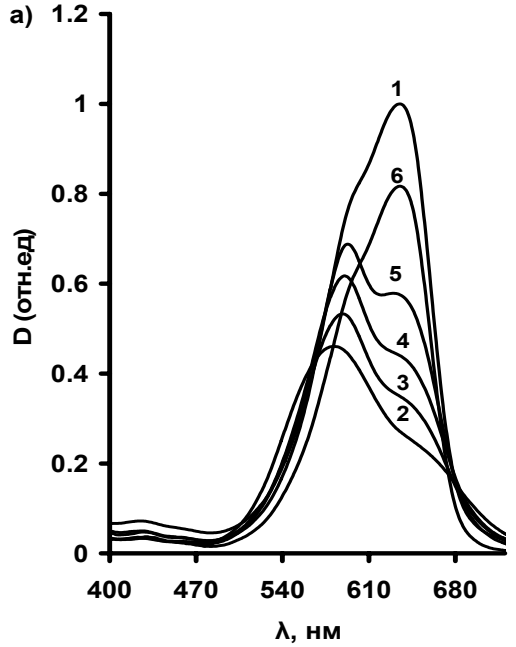


Рисунок 2а. Спектры поглощения НСА в воде (c=10^{-5} М) при добавлении различных концентраций ДДС: *1* – 0; *2* – 2×10^{-3}; *3* – 5×10^{3}; *4* – 6×10^{-3}; *5* – 8×10^{-3}; 6 – 10^{-2} М.

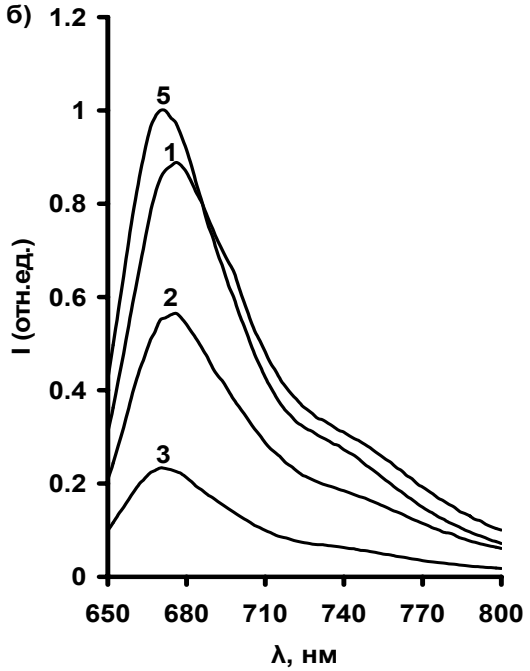


Рисунок 2б. Спектры флуоресценции НСА в воде (c=10^{-5} М) при добавлении различных концентраций ДДС: *1* – 0; *2* – 2×10^{-3}; *3* – 5×10^{3}; *5* – 8×10^{-3} М.

Увеличение концентрации ПАВ выше ККМ (c=10^{-2} М) (кривая 6) приводит к исчезновению полосы с $\lambda_{макс}$=590 нм. Спектр флуоресценции катионной формы красителя НСА имеет максимум с $\lambda_{макс}$=676 нм (рис. 2б, кривая 1). Добавление предмицеллярных концентраций ДДС (c=2×10^{-3}–6×10^{-3} М) в водный раствор красителя НСА приводит к гипсохромному смещению примерно на 2 нм и уменьшению интенсивности флуоресценции (рис. 2б, кривая 2), что обусловлено образованием не люминесцирующих димеров. При доведении ДДС до ККМ и выше в спектре наблюдается резкий рост интенсивности флуоресценции (рис. 2б, кр. 5).

Аналогичная картина, но менее интенсивная, чем в случае с НСА, наблюдается в спектрах поглощения и флуоресценции при добавлении ДДС в водный раствор красителя ОК1. Катионной форме красителя ОК1 соответствует полоса поглощения с $\lambda_{макс}$=657 нм (рис. 3, кривая 1).

Введение в водный раствор ДДС (c=5×10^{-3} М) приводит к резкому уменьшению интенсивности полосы с $\lambda_{макс}$=657 нм (рис. 3, кривая 2). Дальнейшее увеличение концентрации ДДС (c=6×10^{-3} М) в растворе приводит к постепенному росту интенсивности полосы с $\lambda_{макс}$=657 нм. При концентрации ДДС ($c_{ККМ}$=8×10^{-3} М) интенсивность этой полосы немного выше, чем в водном растворе, наблюдается батохромное смещение на 5 нм, при этом форма спектра остается постоянной (рис. 3, кривая 4). Такие изменения в спектрах поглощения и флуоресценции связаны со специфическим взаимодействием молекул красителя с молекулами ПАВ посредством различных механизмов в зависимости от их природы [14]. Так, при малой концентрации ДДС в предмицеллярной фазе вследствие электростатического взаимодействия между положительно заряженной группой красителя и анионной группой ДДС образуются комплексы $К^{+}$+$ПАВ^{-}$ (ионные пары), что приводит к уменьшению интенсивности катионной полосы поглощения.

Дальнейшее увеличение концентрации ДДС до ККМ, приводит к процессу агрегации между ионными парами $(К^{+}+ПАВ^{-})_n$, которая проявляется в спектре поглощения ростом полосы с $\lambda_{макс}$=590 нм. Данная полоса может быть связана с образованием не люминесцирующих димеров между молекулами красителя и ПАВ, что хорошо проявляется в спектре флуоресценции и является характерным для ряда органических красителей других классов, которые имеют склонность к образованию агрегатов [7, 15, 16].

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

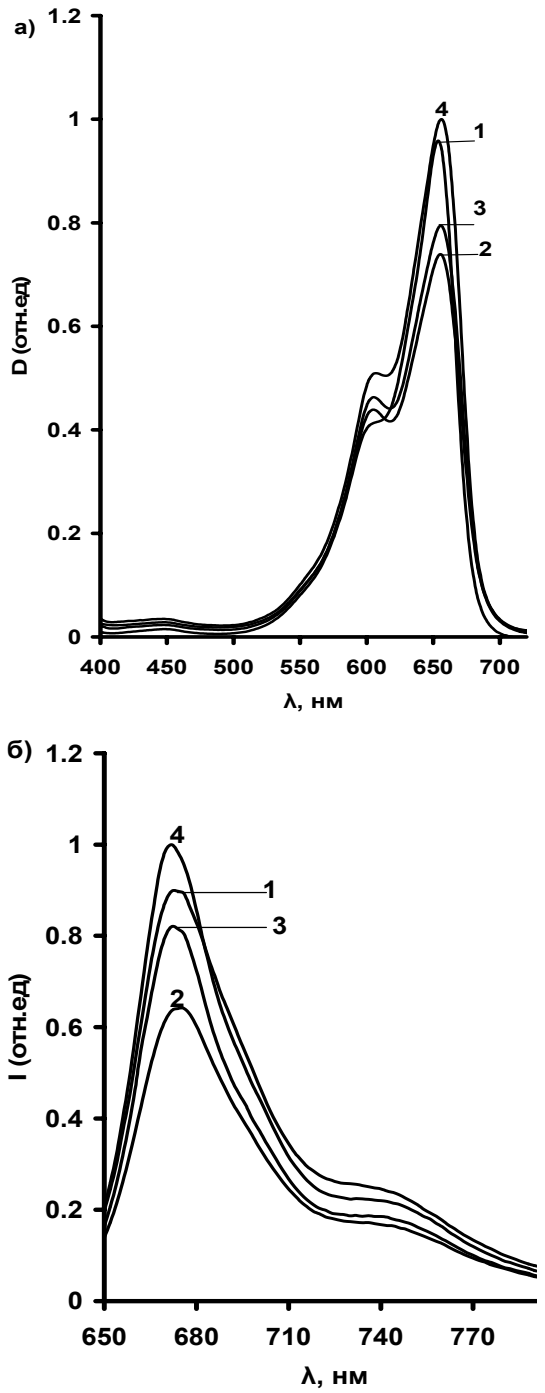


Рисунок 3. Спектры поглощения (а) и флуоресценции (б) ОК1 в воде при добавлении ДДС: *1* – 0; *2* – 5×10^{-3}; *3* – 6×10^{-3}; *4* – 8×10^{-3}М.

Анализ спектров поглощения и флуоресценции показывает, что в растворах красителя ОК1, в отличие от растворов НСА, образование не люминесцирующих агрегатов не наблюдается, что говорит о том, что связывание молекул ОК1 с ДДС происходит в мономерной форме.

Иная картина наблюдается при взаимодействии красителей с ТХ-100 (рис. 4). Обнаружено, что при концентрации ТХ-100 $c=2\times10^{-4}$ М (ККМ для ТХ-100) происходит падение интенсивности полосы поглощения с $\lambda_{макс}$=635 нм. Дальнейший рост концентрации ТХ-100 (от $c=8\times10^{-4}$ до $c=5\times10^{-3}$ М) приводит к увеличению интенсивности полосы с $\lambda_{макс}$=635 нм примерно на 20% по сравнению с интенсивностью этой полосы в водном растворе (рис. 4, кривая 5). Следует отметить, что в спектрах флуоресценции водного раствора НСА по мере увеличения ТХ-100 наблюдается гипсохромное смещение на 4 нм и резкое увеличение интенсивности флуоресценции (рис. 4б, кривая 4). Так при концентрации ТХ-100 $c=2\times10^{-3}$ М интенсивность флуоресценции красителя выросла на один порядок относительно его водного раствора. Аналогичная картина в спектрах поглощения и флуоресценции наблюдается при взаимодействии ОК1 с ТХ-100.

Наблюдаемые изменения в спектрах поглощения и флуоресценции исследуемых красителей, проявляющиеся в смещении максимумов и росте интенсивности при концентрации ДДС≥ККМ, связаны с эффектом сольватохромии [17, 18], который указывает на локализацию молекул красителей в неполярной среде мицелл, направленную гидрофобной частью внутрь оболочки мицеллы за счет гидрофобных взаимодействий. Взаимодействие катионных красителей с анионными ПАВ может также происходить за счет водородных связей посредством молекул воды, либо за счет электростатического взаимодействия через отрицательно заряженные группы красителя $-SO_3^-$ и $-COO^-$.

Проведённые квантово-химические расчеты распределения зарядов на атомах молекул исследованных соединений показали, что атомы азота и кислорода красителей НСА и ОК1 имеют отрицательный заряд –0.395 и –0.228 соответственно (рис. 1). В молекуле ДДС атомы кислорода заряжены отрицательно: –0.981, –0.970, –0.711 и –0.938, а атомы серы и водорода положительно (рис. 5а). Аналогичная картина распределения зарядов наблюдается и в молекуле ТХ-100. Так для атомов кислорода заряды равны –0.22, –0.32 и –0.286 (рис. 5б). Атомы углерода в обоих ПАВ заряжены отрицательно. Предполагается, что в растворах малой концентрации молекулы ПАВ находятся в мономерном состоянии и взаимодействуют с молекулами красителей, как было отмечено

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

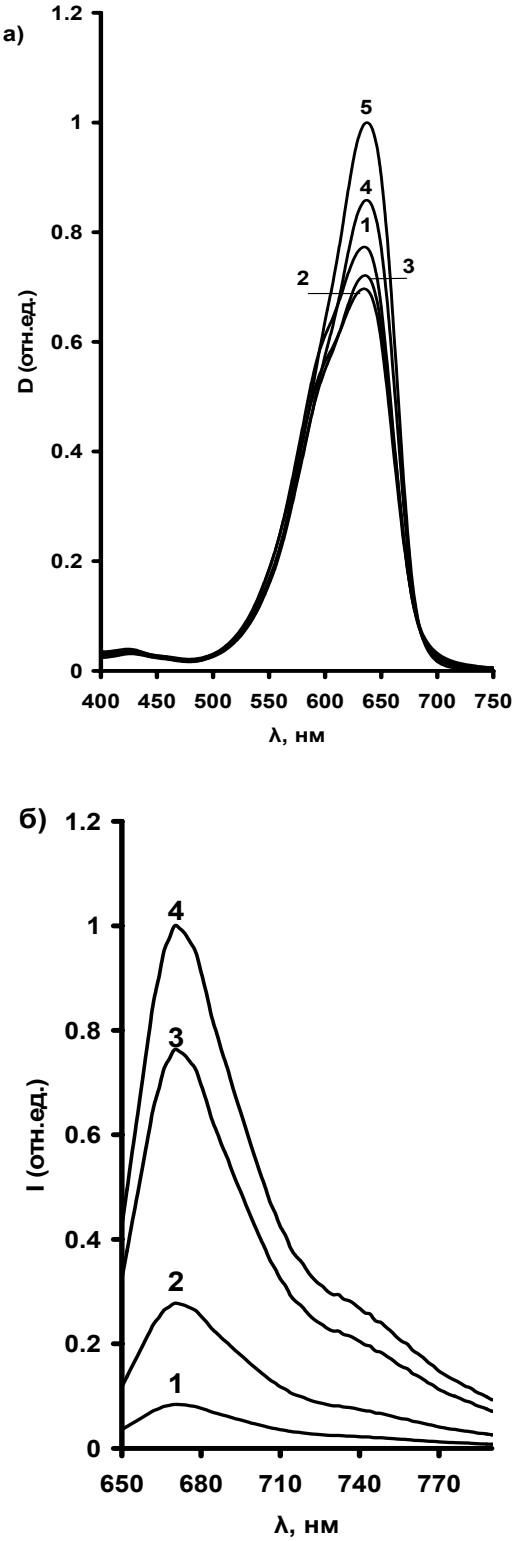


Рисунок 4. Спектры поглощения (а) и флуоресценции (б) НСА в воде (c=10^{-5} М) при добавлении различных концентраций Тритона Х-100: *1* – 0; *2* – 2×10^{-4}; *3* – 8×10^{-4}; *4* – 2×10^{-3}; *5* – 5×10^{-3} М.

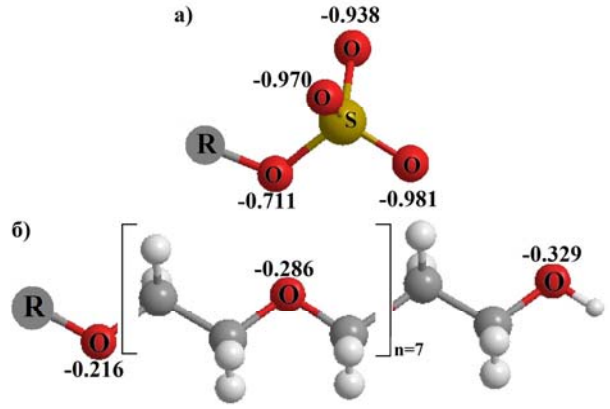


Рисунок 5. Распределение зарядов на атомах ДДС (а) и ТХ-100 (б). Через R обозначена остальная часть ПАВ.

выше, за счет электростатического взаимодействия либо за счет водородных связей молекул воды. Образование комплекса краситель-ПАВ в основном происходит за счет атомов кислорода и азота у красителей НСА и ОК1, либо атомов кислорода у ДДС и ТХ-100. Как видно из расчетов (рис. 5), по сравнению с атомами кислорода ТХ-100, атомы кислорода ДДС имеют отрицательный заряд, превышающий значение атомов кислорода ТХ-100 почти в 4 раза, и, следовательно, взаимодействие молекул ДДС с красителем должно проявляться более сильно, чем с молекулами ТХ-100. Кроме того, небольшие различия в структуре самих красителей также вносят вклад во взаимодействие между молекулами красителя и ПАВ. Так замена NH группы и аниона CH_3COO^- у НСА на $N(C_2H_5)_2$ группу и анион ClO_4^- у ОК1, а также наличие одной метильной группы у НСА и двух метильных групп у ОК1 могут привести к тому, что молекулы ОК1 будут слабо взаимодействовать с молекулами ПАВ, что и наблюдается в эксперименте.

Кинетики затухания флуоресценции красителей НСА и ОК1 в водных растворах при различных концентрациях ДДС представлены на рис. 6. Анализ показывает, что кинетика затухания водного раствора НСА описывается экспоненциальным затуханием с постоянным значением времени τ = 0.36 нс, что хорошо согласуется с результатами работы [19]. Добавление ДДС в водный раствор НСА приводит к тому, что затухание флуоресценции красителя происходит с меньшей скоростью, чем в воде, и хорошо аппроксимируется в рамках двуэкспоненциальной модели. Так, при концентрации ДДС c=2×10^{-3} М кривая затухания флуоресценции описывается двуэкспоненциаль-

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

ным распадом с постоянными временами τ_1 = 0.37 нс (91%) и τ_2 = 1.3 нс (9%). Наличие долгоживущей составляющей в области предмицеллярных концентраций может быть связано с образованием агрегатов ПАВ с солюбилизированным содержанием красителя [20]. При достижении ККМ (c=8×10^{-3} М) долгоживущая компонента становится превалирующей τ_1 = 0.98 нс (83%).

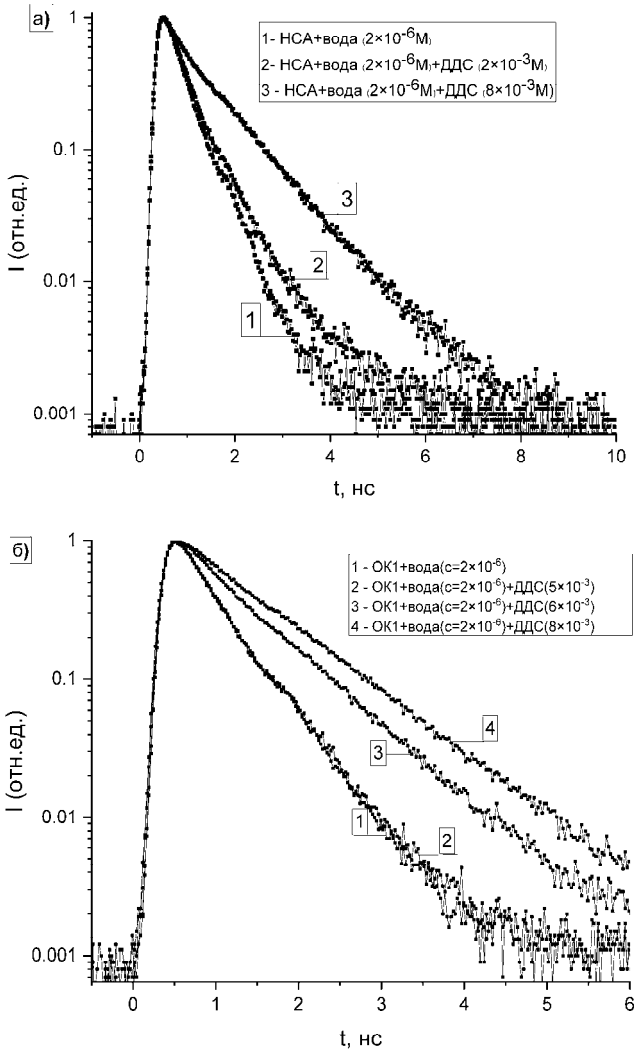


Рисунок 6. Кинетика затухания красителей НСА (а) и ОК1 (б) в воде по мере добавления различных концентраций ДДС и ТХ-100.

Аналогичная картина наблюдается в водном растворе ОК1, время жизни возбужденного состояния которого составляет 0.43 нс. Как и в случае с НСА, при добавлении ДДС наблюдается двуэкспоненциальное затухание. Так, при концентрации ДДС c=5×10^{-3} М кривая затухания флуоресценции описывается двумя экспонентами с постоянными временами τ_1=0.5 нс (65%) и τ_2=0.28 нс (35%). Достижение ККМ (c=8×10^{-3} М) приводит к увеличению времени жизни τ_1=0.93 нс (91%), τ_2 = 0.49 нс (9%). Данные кинетические измерения показывают, что молекулы красителей локализуются (при концентрации ДДС≥ККМ) в гидрофобной части мицеллы, которая защищена от взаимодействия с водой.

Наряду со спектрально-люминесцентными характеристиками растворов, их фотостабильность также является важной характеристикой, описывающей их рабочий ресурс. Обнаружено, что по мере облучения нефильтрованным светом водных растворов НСА и ОК1, в спектре происходит падение поглощательной и флуоресцентной способности. При этом форма и положения максимумов полос поглощения и флуоресценции практически не изменяются.

Из приведенной зависимости изменения оптической плотности красителей НСА и ОК1 в воде в присутствии ПАВ в зависимости от времени облучения (рис. 7) видно, что по мере облучения наблюдается падение интегральной поглощательной способности раствора. Следует отметить, что у красителя НСА процесс фотодеструкции замедляется, по сравнению красителем ОК1, примерно в 3 раза.

Аналогичные изменения наблюдаются и в спектрах флуоресценции. Фотодеструкция красителей НСА и ОК1 в воде является необратимой, то есть после прекращения облучения растворов спектры поглощения и флуоресценции со временем не восстанавливаются. Этот факт указывает, что по мере облучения водных растворов происходит фотолиз по схеме: $H_2O + h\nu \longrightarrow H + \dot{O}H$ [21]. Из приведенной схемы видно, что в процессе фотолиза образуется ОН группа и свободный атом водорода, который может присоединиться к одному из заместителей хромофора красителей. При фотолизе сначала происходит распад молекулы растворителя на отдельные части, затем образовавшиеся продукты разложения растворителя взаимодействуют с молекулой красителя, приводя к их деструкции на отдельные части. Присутствие ДДС и ТХ-100 в водном растворе красителей замедляет процесс фотообесцвечивания последних. Это можно объяснить тем, что часть молекул красителя при образовании комплекса окружена молекулами ПАВ в случае предмицеллярной концентрации либо находится внутри них в случае

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

ККМ и выше, что, в свою очередь, препятствуют ускоренной деструкции молекул красителей и самих комплексов.

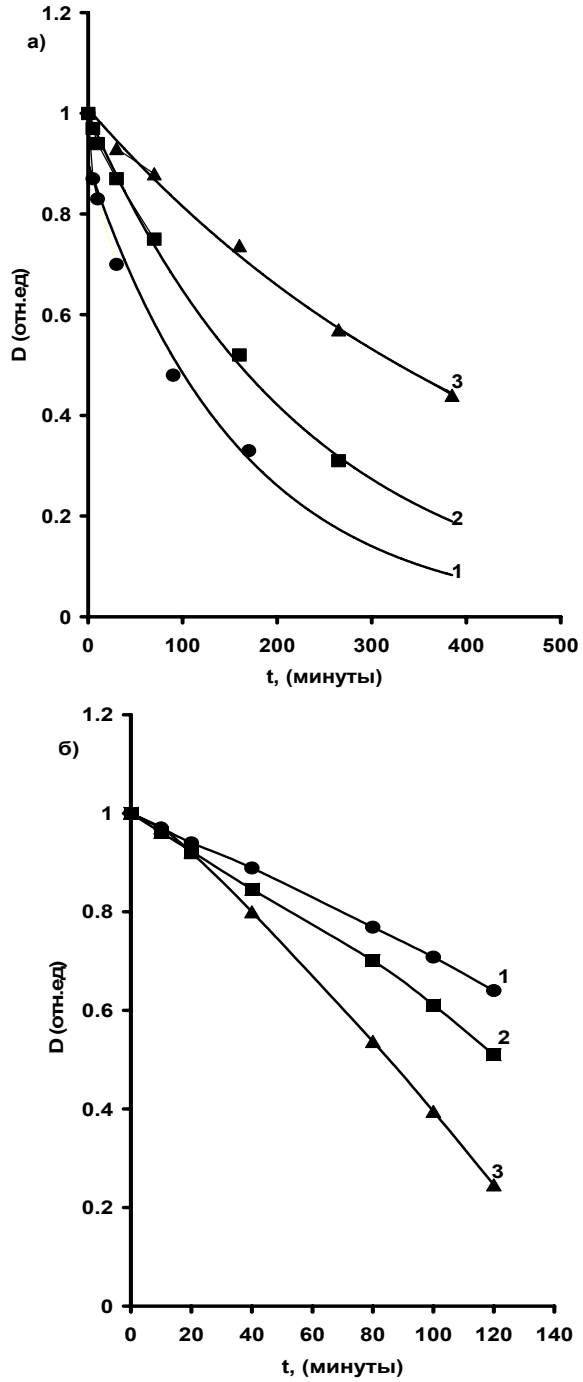


Рисунок 7. Изменение спектров поглощения растворов НСА (а) и ОК1(б) по мере облучения не фильтрованным светом: 1 – водный раствор, 2 – в присутствии ТХ-100 (c=5×10^{-3} М), 3 – в присутствии ДДС (c=8×10^{-3} М).

IV. Заключение

Таким образом, введение в раствор НСА и ОК1 поверхностно-активных веществ приводит к образованию комплексов краситель-ПАВ, каждый из которых характеризуется своими спектрами поглощения и флуоресценции и обладает различной степенью фотостабильности. Установлено, что при введении ПАВ в раствор красителя наблюдается двуэкспоненциальное затухание с различными постоянными времени, которые зависят от концентрации ПАВ. Кроме того, это приводит к росту времени жизни возбужденного состояния, и при достижении ККМ долгоживущая компонента становится превалирующей, что указывает на локализацию молекул НСА и ОК1 в гидрофобной оболочке мицеллы.

Метаданные

Complex formation of some oxazine dyes in aqueous solutions of surfactants

A.Sh. Yarmukhamedov, E.N. Kurtaliev, A.A. Djamalova, N. Nizomov, F. Salakhitdinov

Samarkand State University named after Sh. Rashidov, University Blvd., 15, 140104, Samarkand, Uzbekistan.

The complex formation of Nile blue acetate (NSA) and oxazine 1 dyes with sodium dodecyl sulfate (SDS) and Triton X-100 (TX-100) has been studied by the steady state and picosecond resolved fluorescence spectroscopic techniques. It was found that in the premicellar region of SDS, ion-pair are formed in solution between NSA and SDS molecules with subsequent transition to non-luminescent dimers. Based on quantum chemical calculations and measurement of the excited state lifetime, it is shown that molecules of dyes interact with SDS and TX-100 both with the inner non polar part of the micelle through hydrophobic interactions and with the surface of the micelles due to electrostatic interaction. It has been found that solutions of the dye-surfactant complexes are more stable compared to aqueous solutions.

Keywords: oxazine dyes, surfactants, absorption, fluorescence, photostability, excited state lifetime, intermolecular interactions

Литература (References)

[1] J. Gubala. Science & Justice. **49**, No.3, 165 (2009). https://doi.org/10.1016/j.scijus.2009.03.002
[2] St. Palzer. Powder Technol. **206**, No.1-2, 2 (2011). https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.05.006
[3] T. Kundlacz, J. Bender, C. Schmidt. Int. J. Mass Spectrom. **468**, 116652 (2021). https://doi.org/10.1016/j.ijms.2021.116652.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

[4] H.Y. Wu, Ch.L. Shih, T. Lee, T.Y. Chen, L.Ch. Lin, K.Yu. Lin, H.Ch. Chang, I.Ch. Chuang, Sh.Yu. Liou, P.Ch. Liao. Talanta. **194**, 778 (2019). https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.10.084.
[5] H.J. Lee, H.S. Lee, T. Youn, B. Byrne, P.S. Chae. Chem. **8**, No.4, 980 (2022) https://doi.org/10.1016/j.chempr.2022.02.007
[6] A. Das, A. Bysack, H. Raghuraman. Biochem. Bioph. Res. Co. **578**, 122 (2021). https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.09.031
[7] K.K. Karukstis, J.P. Litz, M.B. Garber, L.M. Angell, G.K. Korir. Spectrochemical Acta A **75**, No.4, 1354 (2010). https://doi.org/10.1016/j.saa.2009.12.087
[8] E.N. Obukhova, N.O. Mchedlov-Petrossyan, N.A. Vodolazkaya, L.D. Patsenker, A.O. Doroshenko, A.I. Marynin, B.M. Krasovitskii. Spectrochem. Acta A. **170**, 138 (2017). https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.07.002
[9] H. Sato, M. Kawasaki, K. Kasatani. Journal of Photochem. **17**, No.2, 243 (1981). https://doi.org/10.1016/0047-2670(81)85363-4
[10] N.V. Visser, A. Hoek, A.J.W.G. Visser, R.J. Clarke, .F. Holzwarth. Chem. Phys. Lett. **231**, No.4-6, 551 (1994). https://doi.org/10.1016/0009-2614(94)01276-8
[11] C.G. Lopez, A. Manova, C. Hoppe, M. Drej, P. Schmiedel, M. Job, W. Richtering, A. Böker, L.A.Tsarkova. Colloid Surface A. **550**, 74 (2018). https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.04.024
[12] http://www.openmopac.net.
[13] J.J.P. Stewart. J. Computer Aided Mol. Desing. **4**, 1-103 (1990). https://doi.org/10.1007/BF00128336
[14] N.O. Mchedlov-Petrosıan. Dıfferentsırovanıe Sılly Organıcheskıkh Kıslot v Istınnykh i Organızovannykh Rastvorakh (HNU, Harkov, 2004).
[15] N.O. Mchedlov-Petrossyan, S.A.Shapovalov, V.L. Koval, T.A. Shakhverdov, Y.A. Bochkaryov. Dyes Pigments **19**, No.1, 33 (1992). https://doi.org/10.1016/0143-7208(92)87009-P
[16] S. Pandit, A. Bapli, D. Seth. J. Mol. Liq. **346**, 118276 (2022). https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118276
[17] A.S. Tatikolov, P.G. Pronkin, I.G. Panova. Spectrochim. Acta A **216**, 190 (2019). https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.03.017
[18] P. Shah, Sh.K. Jha, A. Bhattarai. J. Mol. Liq. **340**, 117200 (2021). https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117200
[19] R.K. Mitra, S.S. Sinha, S.K. Pal. J. Fluoresc. **18**, 423 (2008). https://doi.org/10.1007/s10895-007-0282-1
[20] M.G. Neumann, M.H. Gehlen. J. Colloid Interf. Sci. **135**, No.1, 209 (1990). https://doi.org/10.1016/0021-9797(90)90301-4
[21] Dj. Kalvert, Dj. Pits. Fotokhimiya (Mir, Moskva, 1968).

Баъзи оксазин бўёқларнинг сирт фаол моддалар сувли эритмаларида комплекс ҳосил қилиши

А.Ш. Ярмухамедов, Э.Н. Курталиев, А.А. Джамалова, Н. Низомов, Ф. Салахитдинов

Ш. Рашидов номидаги Самарканд давлат университети, Университет хиёбони, 15, 140104, Самарқанд, Ўзбекистон

Флуоресцент спектроскопия усуллари ёрдамида Нил кўк ацетат (НКА) ва оксазин 1 (ОК1) бўёқларининг додецил сульфат натрий (ДДС) ваТритон Х 100 (ТХ 100) сирт актив моддалари билан комплекс ҳосил қилиш жараёнлари тадқиқ қилинди. Сирт актив моддаларининг кичик концентрациялар соҳаларида НКА ва ДДС молекулалари билан люминесценция бермайдиган димерлар ҳосил қилади. Ўрганилган бўёқлар бирикмаларида квант ҳисоблашлар ўтказилди, НКА ва ОК1 молекулаларининг сув ҳамда ДДС эритмаларида уйғонган ҳолатда яшаш вақти аниқланди. Олинган натижалар асосида ўрганилган бўёқлар молекулаларининг сирт актив моддалар мицеллаларининг ташқи қобиғида (ион ион боғланиш) ҳамда ички қисмида (гидрофобик таъсир) жойлашиши аниқланди. Бўёқ-сирт фаол моддалари комплекслари эритмаларининг сув эритмаларига нисбатан фототурғун эканлики аниқланди.

Калит сўзлар: оксазин бўёқлари, сирт фаол моддалар, ютилиш, флуоресценция, фототурғунлик, уйғонган холат яшаш вақти, молекулалараро ўзаро таъсирлар.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.