

скоагулировавшие загрязнения и чистую воду. Он представляет собой проточную емкость в виде конуса, с наружной стороны которого установлены электромагниты, причем, предусматривается регулировка величины напряженности магнитного поля.

Эффективность электромагнитной очистки зависит от многих параметров: напряженности электрического и магнитного поля, плотности тока, продолжительности обработки и др. Соответственно положительный результат может быть получен только при оптимизации данных параметров. Удельные затраты электроэнергии составляют 0,5–0,7 кВтч/м<sup>3</sup>.

#### Литература

1. Никифоров, Л.Л. Научно-практические основы совершенствования процесса и аппаратного оформления очистки сточных вод мясоперерабатывающих предприятий. - Москва, 2008. – 45 с.
2. Колесников, В.А. Меньшутина, Н.В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 266 с.

УДК 535.37

### СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЖИДКИХ РАСТВОРОВ СОЛЮБИЛИЗИРОВАННОГО ПЛЮРОНИКОМ ПРОИЗВОДНОГО БОРФТОРИДДИПИРРОЛИМЕТЕНА

*Павич Т.А.<sup>1</sup>, канд. хим. наук, Соловьев К.Н.<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
Арабей С.М.<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, доцент, Кузнецова Р.Т.<sup>3</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
Мартыанова Е.Г.<sup>3</sup>, канд. хим. наук, Аксенова Ю.В.<sup>3</sup>, Майер Г.В.<sup>3</sup>, д-р физ.-мат. наук,  
профессор, Березин М.Б.<sup>4</sup>, д-р хим. наук, профессор*

*(<sup>1</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь;*

*<sup>2</sup>Беларусский государственный аграрный технический университет, Минск;*

*<sup>3</sup>Томский государственный университет, Россия; <sup>4</sup>Институт химии растворов  
им Г.А.Крестова РАН, Иваново, Россия)*

Для создания окрашенных функциональных материалов (в том числе и пищевых продуктов) как правило используют предварительное растворение красителей в основе материала, либо их сорастворение в специфических растворителях с последующей окраской материала. В случае слаборастворимых красителей часто используют плуроники (дифильные соединения), поскольку они образуют стабильные супрамолекулярные ассоциаты с красителями, которые затем непосредственно вводят в объем материала. Плуроники способны самособираются в мицеллы различной морфологии, и, например, в водной среде они имеют гидрофобное ядро, которое служит полостью для солюбилизации (самопроизвольного проникновения) слаборастворимых гидрофобных компонентов (красителей), и гидрофильную оболочку, обеспечивающую водную стабильность. Плуроники уже нашли применения при приготовлении пищевых продуктов, сельскохозяйственных кормовых компонентов, лекарственных и косметических препаратов, красок, бумаги, при очистке воды и в других сферах [1-3].

Одним из таких дифильных соединений является Плуроник F-127 (Пл F-127, тройной блоксополимер этилен- и пропиленоксида, рисунок 1а), облегчающий растворение нерастворимых в различных средах (в том числе и в воде) красителей. В настоящей работе выполнены исследования закономерностей взаимодействия дибензилтетраметилборфториддипирро-лилметена ((СН<sub>2</sub>Ph)<sub>2</sub>(СН<sub>3</sub>)<sub>4</sub>ВОDIPY, (I), рисунок 1,б) с Пл F-127 в водно-спиртовых растворах и концентрационных параметров, обеспечивающих солюбилизацию I, т.е. исследования закономерностей получения стабильных супрамолекулярных аддуктов «краситель-плуроник». В этаноле I эффективно генерирует

излучение с  $\lambda=553$  нм и КПД=55% и представленные исследования нацелены на создание твердотельных лазерных сред на его основе.

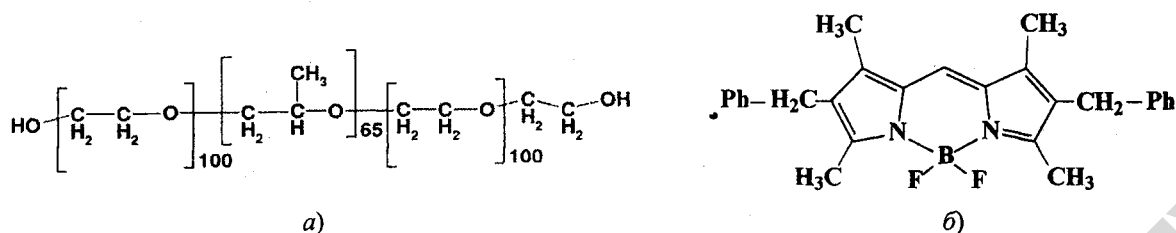


Рисунок 1 – Химическая структура Плуороника F-127 (а) и  $(\text{CH}_2\text{Ph})_2(\text{CH}_3)_4\text{BODIPY}$  (б).

Начальная серия экспериментов позволила определить концентрацию Пл F-127, начиная с которой в растворе образуются мицеллы, инкапсулирующие молекулы I. Исследования реализованы на двух сериях водно-этанольных (3:97 объемн. %) растворов с 20, 15, 10, 7,5 и 5 масс. %-ным содержанием Пл F-127. Первая серия растворов (серия а) приготовлена путем добавления к растворам с разными концентрациями Пл F-127 и объемами 1 мл каждого, по 50 мкл насыщенного этанольного раствора I. Вторая серия растворов (серия б) – с добавкой по 100 мкл насыщенного этанольного раствора I. На рисунке 2а (кривая 1) представлен в качестве примера спектр поглощения I в водно-этанольном растворе Пл F-127 (5 масс.%), который имеет характерную длинноволновую полосу поглощения при 527 нм.

Анализ спектров поглощения I двух серий показывает, что максимум полосы при 527 нм уменьшается с ростом концентрации Пл F-127. При этом, для образцов серии б эта полоса заметно уширена по сравнению с полосой для образцов серии а (например, для спектра серии а с концентрацией 5 масс.% Пл F-127, полуширина полосы достигает  $\sim 1100$   $\text{см}^{-1}$ , а для серии б –  $\sim 1400$   $\text{см}^{-1}$ ). Дальнейшее увеличение концентрации Пл F-127 приводит к сужению полосы. Эти данные свидетельствуют об образовании агрегатов молекул I при их большой концентрации и малой концентрации Пл F-127 в растворе и их разрушении с увеличением концентрации детергента.

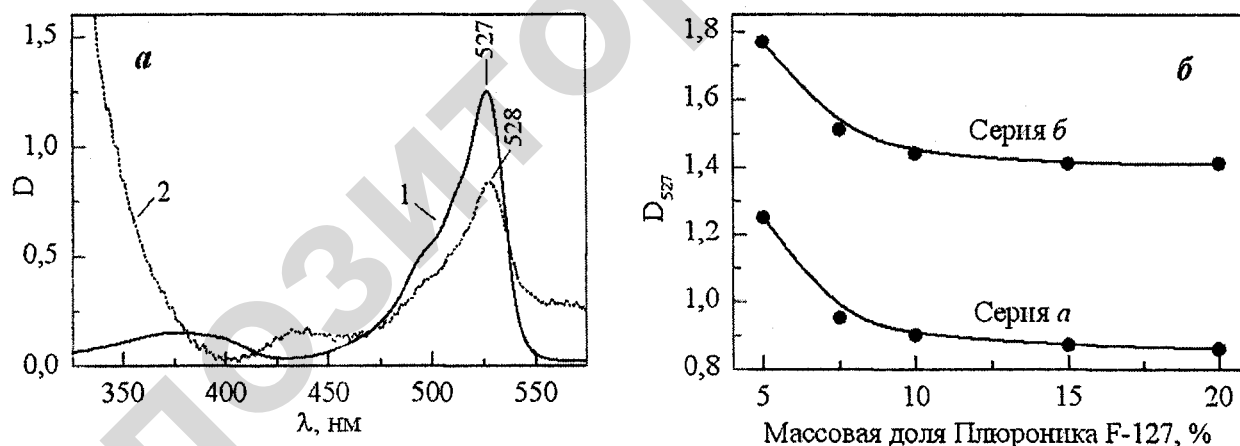


Рисунок 2. – (а) Спектры поглощения I в 5 масс. %-ном водно-этанольном растворе Пл F-127 (кривая 1) и в высушенной твердой фазе (кривая 2); (б) Зависимость пикового поглощения I при 527 нм в водно-этанольных растворах от концентрации Пл F-127 в них

Изменение пикового поглощения I при 527 нм в водно-этанольных растворах в зависимости от концентрации Пл F-127 в них (рисунок 2 б) для двух изученных серий показало, что начиная с концентрации  $\sim 10$  масс.% Пл F-127 оптическая плотность в максимуме полосы поглощения при 527 нм стабилизируется. Полученные данные свидетельствуют о том, что при концентрациях Пл F-127 10 масс. %-ной (и более) имеет место сольubilизация молекул I, введенных в раствор, т.е. при таких условиях для их инкапсулирования образует достаточное количество мицелл.

Для растворения образованных мицелл (аддукта) «I – Пл F-127» в других растворителях, исходный водно-этанольный раствор был выпарен (в течение 24 ч при температуре  $<40^{\circ}\text{C}$ ) и получен сухой продукт, спектр поглощения которого приведен на рисунке 2а (кривая 2). Переход образованных аддуктов в твердую фазу практически не влияет на спектральное положение и форму длинноволновой полосы поглощения I – наблюдается незначительное батохромное смещение (на  $\sim 1$  нм). Напротив, полоса поглощения в растворе в области 350-400 нм, соответствующая переходам в высоколежащие синглетные состояния, претерпевает существенное длинноволновое смещение в область 420-440 нм, что свидетельствует о переходе аддукта в твердое состояние.

Спектры поглощения твердофазных аддуктов «I – Пл F-127», растворенных в водно-этанольной смеси (50:50 объемн.%), изображены на рисунке 3. Спектральные данные показывают, что растворы высушенных аддуктов, изначально содержавших по 100 мкл I (рисунок 3а), имеют спектры мономерной формы I. При этом интенсивность полосы поглощения при 527 нм возрастает с увеличением концентрации Пл F-127, что антибатно поведению интенсивности аналогичной полосы, изображенному на рисунке 2б. Появление в спектрах поглощения растворов с увеличенной концентрацией I (добавка 150 мкл, рисунок 3б) полос при 466 нм и в области 350-400 нм (рисунок 3б) свидетельствует об образовании в растворе ассоциатов. Для этой серии спектров также возрастает интенсивность полосы поглощения при 527 нм с увеличением концентрации Пл A-127. Важно отметить, что относительная доля молекул I, соответствующих спектральной форме с полосой поглощения при 466 нм, уменьшается при увеличении концентрации детергента в растворе.

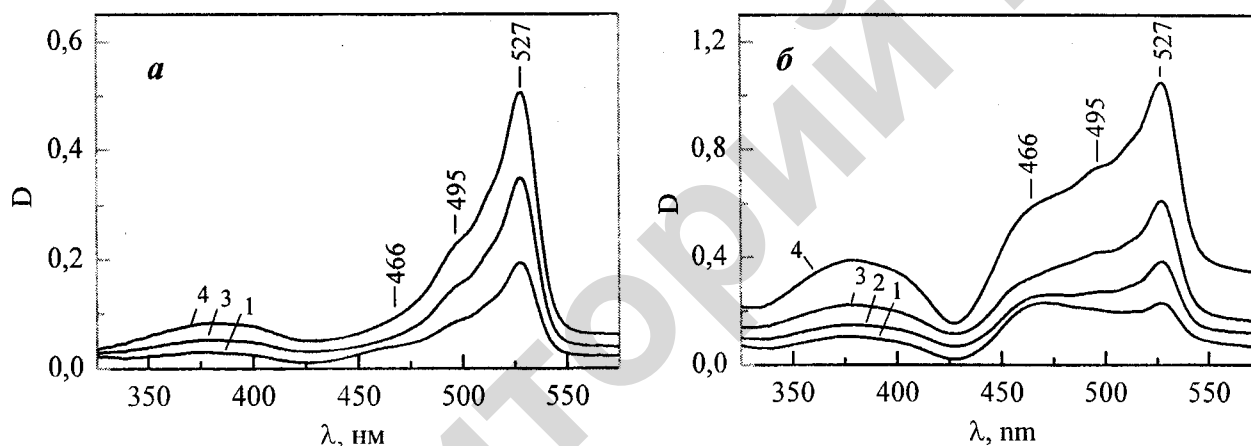


Рисунок 3 – Спектры поглощения водно-этанольного (50:50 объемн.%) раствора аддуктов «I – Пл F-127», содержащих разные концентрации Пл F-127 (5 (1), 10(2), 15(3) и 20(4) масс.%) и разные добавки I (100 (а) и 150 (б) мкл).

Объяснить наблюдаемые концентрационные эффекты можно с позиции особенностей сольubilизации молекул I детергентом Пл F-127, а именно, влиянием соотношения концентраций красителя и детергента в растворе и изменения компонентного состава растворителя на формирование мицелл «I – Пл F-127». При низкой концентрации Пл F-127 в растворе он существует преимущественно в мономерной форме, не образуя тем самым мицеллы. Поскольку производные BODIPY лучше растворяются в этаноле, чем в дистиллированной воде, интенсивность длинноволновой полосы уменьшается с увеличением концентрации Пл F-127 (рисунок 2б) вследствие увеличения доли молекул I инкапсулированных детергентом (преобладание этанола в двухкомпонентном растворителе). Ситуация изменяется, когда соотношение компонент растворителя смещается в сторону увеличения содержания дистиллированной воды (рисунок 3). Тогда увеличение интенсивности поглощения при 527 нм водно-спиртового мицеллярного раствора с ростом концентрации Пл F-127 (рисунок 3а) можно объяснить преимущественным растворением образованных мицелл Пл F-127 с инкапсулированными молекулами I и незначительным растворением “свободных” молекул I в таком двухкомпонентном растворителе. Аналогичная

ситуация для инкапсулированных молекул I имеет место и для серии спектров поглощения более концентрированных растворов (рисунка 3б). Появление полосы поглощения ассоциатов I в спектрах этой серии при 466 нм можно объяснить их лучшей растворимостью в воде, чем мономерных молекул. При этом доля ассоциированных молекул (по отношению к инкапсулированным) будет уменьшаться с ростом концентрации Пл F-127.

Таким образом, в работе с помощью способа солюбилизации получены стабильные водно-спиртовые мицеллярные дисперсные системы «I – Пл F-127». Спектральным методом показано, что молекулы I в мицеллах Пл F-127 сохраняет спектральные свойства мономерной формы (находится в наибольшей степени дезагрегации), что сохраняет их функциональные свойства. Полученные системы могут быть использованы при синтезе силикатных материалов оптического назначения, окрашенных красителями, солюбилизированными плуроником.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (договор №Ф14Р-096) и РФФИ (договор №14-03-90011-Бел\_a).

#### Литература

1. Schmolka, I.R. Artificial skin I. Preparation and properties of Pluronic F-127 gels for treatment of burns / I.R. Schmolka // J. Biomed. Mater. Res. – 1972. – Vol.6, No.6. – P.571-582.
2. Gombotz, W.R. Biodegradable polymers for protein and peptide drug delivery / W.R. Gombotz, D.K. Pettit // Bioconjugate Chem. – 1995. – Vol.6, No.4. – P.332-351.
3. Diffusion factor in gels of rat atrial natriuretic thermoreversible oloxamer / J. Juhasz [et al.] // Biomaterials – 1989. – Vol.10, No.4. – P.265-268.

УДК 535.37 + 004.942

### **НОВЫЙ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ФЛУОРОФОРОВ В МОДЕЛЬНЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Станишевский И.В.**<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, доцент, **Чернявский В.А.**<sup>1</sup>, к. ф.-м. н., доцент, **Арабей С.М.**<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук, доцент, **Соловьев К.Н.**<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор  
(<sup>1</sup>Беларусский государственный аграрный технический университет, Минск;  
<sup>2</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск)

Методы оптической спектроскопии, включающие спектрофотометрические и спектрально-люминесцентные, являются широко применяемыми современными высокочувствительными методами неразрушающего контроля и анализа качественного и количественного состава органических веществ в анализируемых образцах на уровне микроскопических количеств [1]. Спектральные методы анализа и контроля успешно применяются на всех стадиях производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, несмотря на их сложный и часто многокомпонентный состав. В настоящее время для повышения селективности этих методов и надежности результатов анализа используют разнообразные подходы: метод Фирордта; регистрация производных спектров, улучшающая разрешение отдельных полос и снижающая фон; регрессионный анализ совокупных измерений оптической плотности анализируемых смесей в широком диапазоне длин волн и другие [2]. В дополнение к этому новые компьютерные методы обработки спектральных данных значительно повышают селективность и чувствительность методов, например, в случае перекрывающихся спектров поглощения компонент смеси или суммарного свечения неразделенных молекулярных компонент анализируемой системы.

В настоящее время постоянно сообщается о новых оптических методах анализа многокомпонентных объектов или выявления присутствия отдельных органических соединений в смеси. По этой причине актуальной задачей является разработка и усовершенствование методов выявления свечения крайне низких концентраций люминесцентных маркеров, доказывающих их присутствие или вовлечение в биохимические