

УДК 541.182.43

А. Б. Миргородская, Е. И. Яцкевич, Л. Я. Захарова

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ
АМФИФИЛЬНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**FUNCTIONAL SUPRAMOLECULAR SYSTEMS BASED
ON AMPHIPHILIC AND POLYMER COMPOUNDS**

Учреждение Российской академии наук Институт органической
и физической химии им. А. Е. Арбузова КНЦ РАН
420088 Казань, ул. акад. Арбузова, д. 8. E-mail: mirgorod@iopc.ru

Продемонстрирована возможность формирования функциональных супрамолекулярных систем на основе дикатионных ПАВ, характеризующихся высоким солюбилизующим действием и регулируемым каталитическим эффектом в процессах расщепления сложноэфирных связей.

Ключевые слова: дикатионные ПАВ, мицелла, электролит, неионный полимер, агрегация, солюбилизация, кинетика, катализ, гидролиз, сложный эфир.

The possibility of the formation of functional supramolecular systems based on dicationic (gemini) surfactants with a high solubilizing capacity and controllable catalytic effect during the process of ester's bonds cleavage has been demonstrated.

Key words: dicationic surfactants, micelle, electrolyte, nonionic polymer, aggregation, solubilization, kinetics, catalysis, hydrolysis, ester.

Нековалентная самосборка амфифильных соединений и полимеров лежит в основе целого ряда современных подходов супрамолекулярной химии и нанотехнологий, позволяющих создавать полифункциональные наносистемы: биомиметические катализаторы, рецепторы, наноконтейнеры для лекарственных и диагностических средств, невирусные векторы и т. д. Направленный подбор молекулярных строительных блоков позволяет осуществлять тонкую корректировку функциональной активности солюбилизированных соединений прежде всего за счет эффектов концентрирования и смены их микроокружения. Поверхностно-активные вещества (ПАВ), по своей природе склонные к формированию наноразмерных агрегатов (мицелл, микроэмульсий, везикул, жидких кристаллов, моно- и полислоев), являются наиболее востребованными блоками для создания супрамолекулярных систем. Использование смешанных композиций на основе ПАВ (бинарные системы ПАВ, системы ПАВ – полимер) значительно расширяет спектр потенциальных наноструктур и их практическое использование. Способность таких организованных систем к избирательному связыванию соединений позволяет контролировать термодинамическую стабильность и физико-химические свойства «гостя».

Одним из важнейших прикладных аспектов применения супрамолекулярных систем является их использование в качестве нанореакторов. Основные принципы катализа в самоорганизующихся системах связаны с формированием в них нанобластей,

обладающих специфическими характеристиками, что позволяет создавать градиент полярности и концентраций солюбилизованных реагентов и в широком диапазоне регулировать их каталитическую активность [1, 2].

Нами проводятся исследования по созданию полифункциональных систем на основе катионных ПАВ, в том числе изучение влияния их структуры на агрегационные свойства и функциональную активность (каталитическую, солюбилизационную и биологическую) при варьировании природы головной группы и гидрофобности ПАВ. В настоящей статье мы проиллюстрируем некоторые полученные нами результаты и выявленные закономерности на примере дикатионных (геминальных) ПАВ.

Геминальные ПАВ состоят из двух амфифильных углеводородных радикалов и двух головных групп, связанных спейсерным (нередко полиметиленовым) фрагментом. Структуру этих соединений часто обозначают как *m-s-m*, где *m* и *s* отражают число атомов углерода алкильной и спейсерной групп, соответственно. Дикатионные ПАВ обладают свойствами, превосходящими свойства обычных (монокатионных) аналогов. В частности, значения их критической концентрации мицеллообразования (ККМ) на порядок (и более) ниже, чем для соответствующих монокатионных ПАВ. Они эффективнее снижают поверхностное натяжение воды и обладают более высоким солюбилизирующим действием. В последние годы опубликовано значительное число работ, посвященных исследованию агрегационного поведения дикатионных ПАВ, в которых определены значения ККМ, степень диссоциации и числа агрегации, изучена термодинамика мицеллообразования, поведение на границах раздела фаз, оценены размеры и морфология образующихся агрегатов, обсуждена реология их водных растворов. В числе публикаций следует прежде всего выделить обзоры [3 – 6]. В гораздо меньшей степени исследованы их солюбилизационное действие и особенности использования растворов дикатионных ПАВ в качестве реакционной среды.

В наших работах для формирования функциональных супрамолекулярных систем использованы алкиламмонийные геминальные ПАВ общей формулы $[R^1R^2R^3N(CH_2)_nNR^1R^2R^3]^{2+}2Br^-$, отличающиеся длиной гидрофобного радикала ($R^1 = n-C_{10}H_{21} - n-C_{16}H_{33}$), количеством метиленовых звеньев в спейсерном фрагменте ($n=4 - 12$) и строением головной группы (метильный, этильный, пипиридилный, морфолильный и 2-гидроксиэтильный радикал) [7 – 12]. Далее в тексте использование обозначения *m-s-m* подразумевает ПАВ с двумя метильными радикалами в головной группе, в случае других заместителей будут даны дополнительные уточнения.

Агрегационное поведение. Кондуктометрическим, потенциометрическим, тензиометрическим методами для вышеназванных ПАВ нами определены значения ККМ, степень связывания противоионов. Показано, что переход от моно- к дикатионным ПАВ приводит к уменьшению ККМ приблизительно на два порядка. Дополнительное снижение ККМ (еще до 5 раз по сравнению с соответствующими нефункционализированными аналогами) наблюдается для димерных ПАВ с гидроксиэтильным фрагментом в головной группе. Вероятно, формированию мицелл с одной стороны способствует то, что два положительно заряженных центра в одной молекуле зафиксированы ковалентной связью, с другой – возможность образования водородных связей между гидроксилами головных групп. С помощью ЭПР спиновых зондов выявлено, что мицеллы дикатионных ПАВ с более короткими радикалами характеризуются существенно более высокой подвижностью и меньшей плотностью упаковки углеводородных радикалов, при этом они имеют меньшую полярность гидрофобного ядра по сравнению с мономерными аналогами. Методами ЯМР-самодиффузии и динамического рассеяния света показано, что при концентрации 10 мМ ПАВ 12-6-12 образует сферические мицеллы с

гидродинамическим радиусом 2,0 нм, с вытянутой конформацией углеводородных радикалов молекул и числом агрегации ~25. Его аналог 16-6-16 при этой же концентрации образует вытянутые эллипсоиды, характеризующиеся гидродинамическим радиусом 3,4 нм и более высоким числом агрегации [10]. Разнообразие морфологических форм в системах на основе геминальных ПАВ продемонстрировано на примере гексадецильных производных с гидроксипропиловым фрагментом в головной группе. Методом динамического светорассеяния показано, что длина спейсерного фрагмента определяет форму образующегося агрегата: при концентрации 10 мМ могут образовываться стержнеобразные ($s = 4$), эллипсоидные ($s = 6$) или же сферические ($s = 8, 10$) мицеллы.

Солубилизирующее действие. Дикаатионные ПАВ проявляют высокое солубилизирующее действие в отношении ряда органических соединений. Методами потенциометрии и спектрофотометрии нами количественно охарактеризована растворимость гидрофобных аминов, жирных кислот и *n*-нитрофениловых эфиров жирных кислот (рис. 1, 2) в растворах дикаатионных ПАВ.

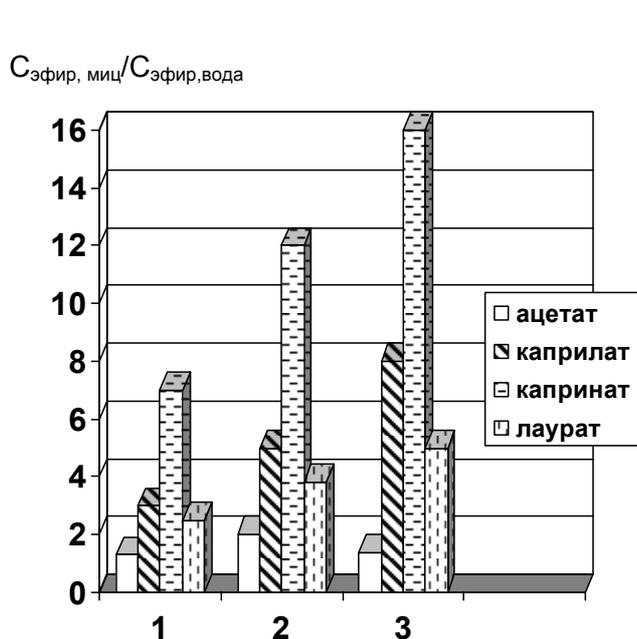


Рис. 1. Увеличение растворимости *n*-нитрофениловых эфиров карбоновых кислот при переходе от воды к мицеллярным растворам катионных ПАВ ($C_{\text{ПАВ}} 5 \text{ мМ}$, 25°C).
1 – ЦТАБ, 2 – 16-6-16, 3 – 16-6-16 ($\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$)

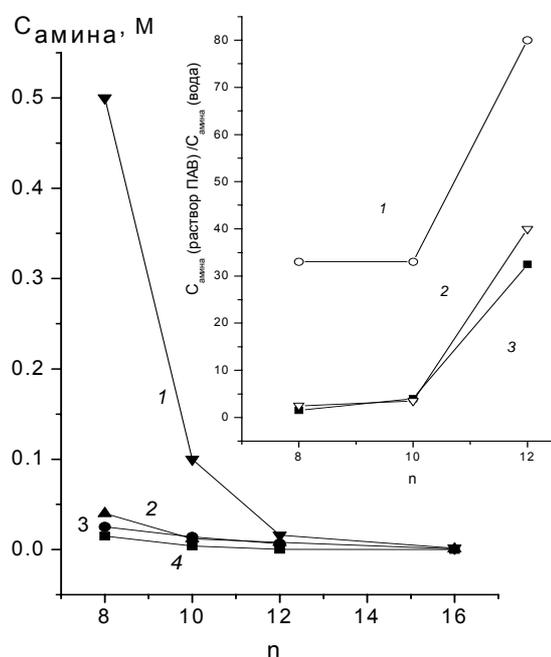


Рис. 2. Влияние числа атомов углерода в первичных *n*-алкиламинах (C_n) на их растворимость в растворах ПАВ ($C_{\text{ПАВ}} 5 \text{ мМ}$, 25°C):
1 – 16-6-16; 2 – 12-6-12, 3 – ЦТАБ, 4 – без ПАВ. На вставке – данные по растворимости аминов в растворах ПАВ, нормированные по отношению к воде

Показано значительное (до 20 раз) увеличение растворимости этих соединений при переходе от воды к мицеллярным растворам. При этом существенную роль играет длина гидрофобного радикала ПАВ, тогда как длина спейсерного фрагмента незначительно влияет на солубилизирующее действие. Замена метильного радикала в головной группе дикаатионного ПАВ на гидроксипропиловый фрагмент открывает дополнительные возможности для связывания субстрата и приводит к росту растворимости тес-

тируемых соединений. Высокое солубилизирующее действие обусловлено эффективным связыванием молекул «гостя» мицеллой, что может служить предпосылкой использования сформированных супрамолекулярных агрегатов в качестве наноконтейнеров для органических и биоорганических субстратов.

Следствием солубилизации веществ мицеллами является их концентрирование в малом объеме и изменение микроокружения солубилизата, которое приводит к изменению реакционной способности, кислотно-основных свойств, спектральных и других физико-химических параметров. На примере длинноцепочечных аминов проиллюстрировано существенное снижение их pK_a (на 1 – 1,5 единицы) по сравнению со значениями в воде [8, 10]. Главная причина такого влияния – предпочтительная солубилизация нейтральной формы аминов положительно-заряженной поверхностью мицеллы. Чем выше поверхностный заряд мицеллы, тем сильнее мицеллярное действие. Спектрофотометрическим методом, используя *n*-нитрофенол в качестве зонда, способного встраиваться в межфазный слой и реагировать на изменения его структуры, нами был оценен поверхностный потенциал мицелл ряда катионных ПАВ. Как показали полученные результаты, его величина мало зависит от природы заместителей в головной группе, но «чувствует» переход от моно- к дикатионным соединениям. Так, для ПАВ 16-6-16 значения поверхностного потенциала составляет 155 мВ, а для бромиды цетилтриметиламмония (ЦТАБ) – 130 мВ [7, 10]. В случае использования растворов ПАВ в качестве реакционной среды, такой разницы оказывается достаточно, чтобы обеспечить различное влияние на скорость химических взаимодействий, особенно для ион-молекулярных процессов.

Каталитическая активность. Мицеллярные растворы дикатионных ПАВ, содержащие метильные радикалы в головной группе, были использованы нами в качестве каталитической системы для щелочного гидролиза эфиров карбоновых кислот и кислот тетракоординированного фосфора (схема 1).

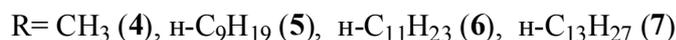


Схема 1

Полученные кинетические данные позволили установить, что изучаемые дикатионные ПАВ обладают высоким каталитическим действием в процессах гидролитического расщепления сложноэфирных связей, которое проявляется при более низких концентрациях, чем у монокатионных аналогов (рис. 3, 4). На примере щелочного гидролиза фосфонатов 1 – 3 в растворах дикатионных ПАВ продемонстрировано, что макси-

мальные ускорения наблюдаются несколько выше ККМ в области существования сферических мицелл (рис. 3). При этом характер влияния мицелл на скорость гидролиза во многом определяется фактором гидрофобности: каталитический эффект увеличивается с возрастанием длины алкильного радикала ПАВ (рис. 5).

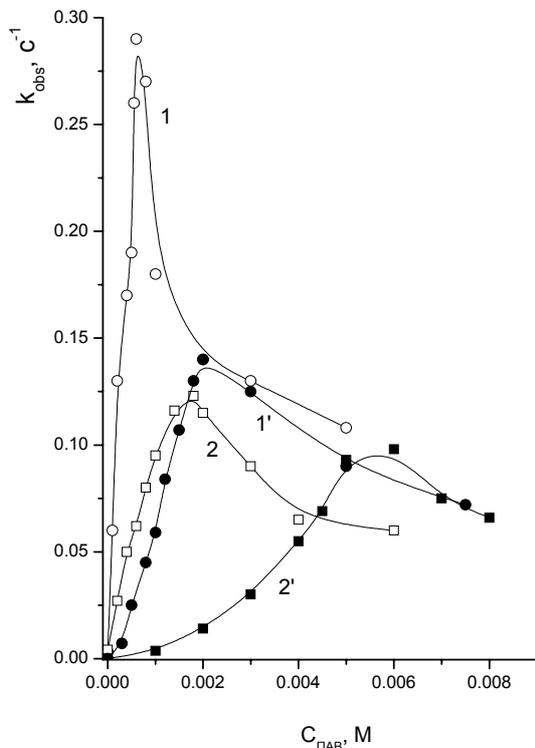


Рис. 3. Зависимость наблюдаемой константы скорости щелочного гидролиза эфиров фосфоновых кислот от концентрации ПАВ (0,001 M NaOH, 25 °C).
1, 2 – 16-6-16, 1', 2' – ЦТАБ,
1, 1' – фосфонат 3, 2, 2' – фосфонат 1

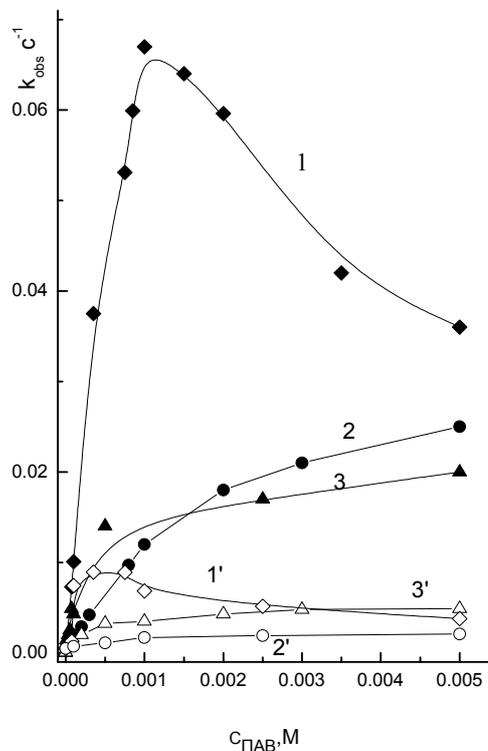


Рис. 4. Зависимость наблюдаемой константы скорости щелочного гидролиза эфиров карбоновых кислот от концентрации ПАВ (pH 9,2; 25 °C). 1, 2, 3 – 16-6-16 (C₂H₄OH),
1', 2', 3' – 16-6-16, 1, 1' – деканоат 5,
2, 2' – ацетат 4, 3, 3' – лаурат 6

Исследуемые системы проявляют выраженную субстратную специфичность: для всех дикаатионных ПАВ наибольший эффект отмечается для более гидрофобного субстрата. Это отражает характер распределения субстрата между мицеллой и объемной фазой: чем сильнее он связывается мицеллой, тем в большей степени сказывается эффект концентрирования реагентов (субстрата и гидроксид-иона) у положительно заряженной поверхности мицеллы, который вносит значительный вклад в ускорение процесса. Подобная субстратная специфичность наблюдается и для монокатионных ПАВ, однако в этом случае она менее выражена (рис. 6).

Дополнительные возможности по регулированию каталитического эффекта системы возникают при направленной функционализации системы. Например, замена метильного фрагмента в головной группе геминальных ПАВ на гидроксиэтильный позволяет наряду с гидрофобными и электростатическими взаимодействиями, подключать специфические взаимодействия (образование водородных связей). В этом случае облегчается процесс мицеллообразования в системе, создаются дополнительные условия для сольubilизации реагентов, что приводит к активации субстратов и обеспечивает

более чем десятикратное ускорение по сравнению с нефункционализированным дика-
тионным ПАВ (рис. 4).

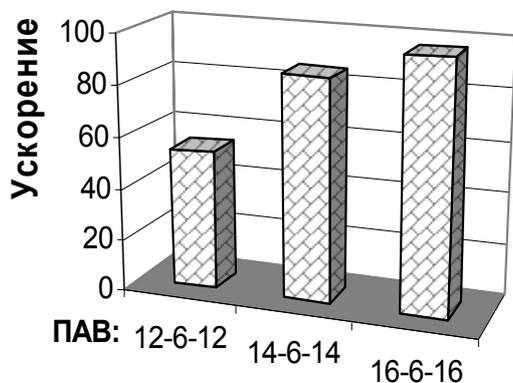


Рис. 5. Ускорение щелочного гидролиза фосфоната (3) в мицеллярных растворах дика-
тионных ПАВ, (0,001 М NaOH; 25 °С)

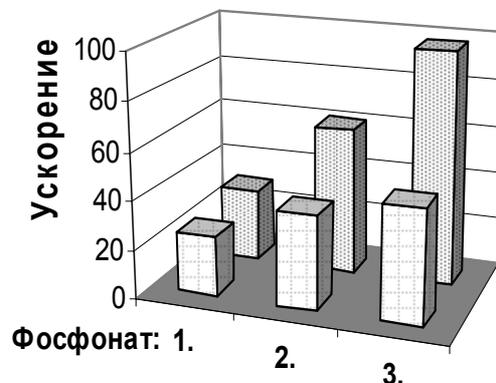


Рис. 6. Ускорение щелочного гидролиза фосфонатов (1 – 3) наблюдаемое при переходе от воды к растворам катионных ПАВ (0,001 М NaOH; 25 °С)

*Влияние электролитов на каталитические свойства мицеллярных растворов дика-
тионных ПАВ.* Направленный контроль каталитической активности дика-
тионных ПАВ может осуществляться и за счет введения в систему различных инертных и реак-
ционно-способных добавок. Это могут быть фоновые электролиты, буферные компо-
ненты, реагенты, полимеры. Модификация мицеллярных растворов ионных ПАВ до-
бавками фонового электролита может обеспечить изменение величины поверхностного
потенциала системы. Это связано с тем, что увеличение концентрации противоионов
ПАВ, достигаемое введением электролита, приводит к частичной нейтрализации по-
верхностного заряда мицелл, что, в свою очередь, снижает дестабилизирующее оттал-
кивание одноименно заряженных головных групп. При добавлении в растворы дика-
тионных ПАВ электролитов наблюдается падение абсолютной величины поверхност-
ного потенциала системы, снижение ККМ, увеличение чисел агрегации и размеров ми-
целл. Так, введение 0,01 М хлорида калия в водный раствор 16-6-16 вызывает умень-
шение ККМ от $4,5 \cdot 10^{-5}$ до $1,7 \cdot 10^{-5}$ М, при этом наблюдается изменение поверхностного
потенциала от 155 до 90 мВ [13]. Подобные эффекты от введения сильного электроли-
та имеют место и для монокатионных ПАВ, однако они существенно меньше: добавка
0,01 М KCl в раствор ЦТАБ снижает величину потенциала лишь на 15 мВ. Падение по-
верхностного потенциала приводит к уменьшению способности мицеллы концентриро-
вать заряженный нуклеофил у ее поверхности, что понижает константу скорости в ми-
целлярной фазе.

Представленные на рис. 7 изменения значений наблюдаемой константы скоро-
сти щелочного гидролиза (0,001 М NaOH) ацетата 4 и декааноата 5 в зависимости от
концентрации 16-6-16 свидетельствуют о падении каталитического эффекта системы
при введении в нее хлорида калия, при этом более гидрофобный субстрат оказывается

более чувствительным к введению электролита. Так, без хлорида калия наибольшее ускорение гидролиза деканоата **5** достигается при $C_{16-6-16} \sim 1$ мМ и составляет 120 раз; введение 0,1 М КСl практически полностью подавляет каталитический эффект. В случае ацетата **4** ситуация не столь драматична: ускорения колеблются от 6 до 3 раз при изменении концентрации КСl от 0 до 0,1 М [13]. Различие в поведении может быть объяснено с учетом распределения субстратов в растворе ПАВ: чем выше связывание субстрата мицеллой, тем в большей степени скорость процесса будет зависеть от концентрирования гидроксид-ионов у ее поверхности, которое, в свою очередь, определяется поверхностным потенциалом, меняющимся под действием электролита.

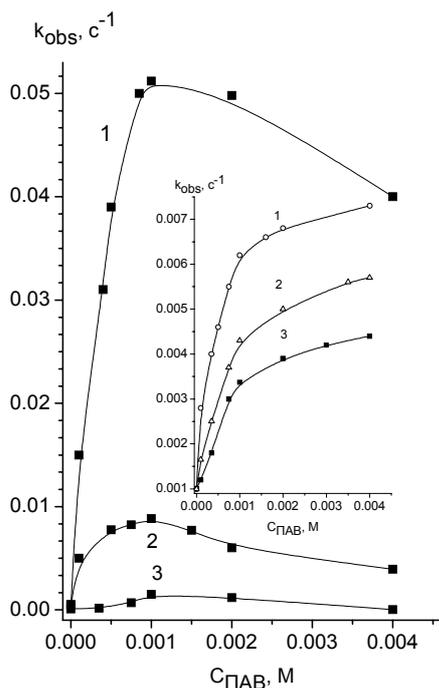


Рис. 7. Зависимость наблюдаемой константы скорости щелочного гидролиза деканоата **5** от концентрации 16-6-16 (на вставке для ацетата **4**) при $C_{\text{КСl}} 0$ (1); 0,001 М (2); 0,1 М (3); (0,001 М NaOH, 25°C)

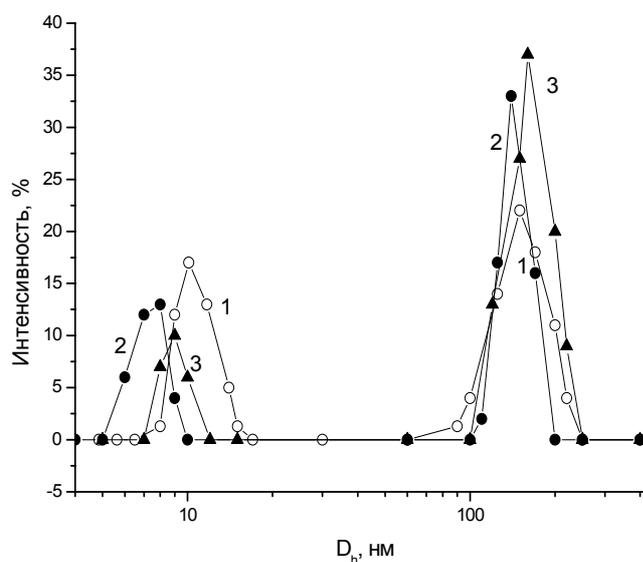


Рис. 8. Распределение частиц по размерам в бинарной системе ПЭГ/16-16-6.

$C_{\text{ПЭГ}} = 0,02$ М, при $C_{\text{ПАВ}} = 0$ (1), 0,5 мМ (2), 1 мМ (3)

Полимер-коллоидные каталитические системы. Полимерные соединения могут выступать в роли матрицы для молекул и мицелл ПАВ, при этом образуются полимер-коллоидные структуры, характеризующиеся свойствами, отличными от свойств индивидуальных составляющих, сочетающие в себе преимущества ковалентной и нековалентной самосборки компонентов.

При формировании на основе дикатионных ПАВ систем, обладающих свойствами нанореакторов и наноконтейнеров, широко использованы водорастворимые неионные полимеры: полиэтиленгликоль с молекулярной массой 20000, и триблоксополимеры с различным соотношением пропиленоксидных и этиленоксидных фрагментов (Pluronic 31R1, Pluronic F-127, Synperonic L64). Выбор этих полимеров обусловлен тем, что они имеют различные гидрофильно-липофильные характеристики, что должно отражаться на их способности образовывать смешанные агрегаты с ПАВ и проявляться в каталитических свойствах системы. В условиях эксперимента (водные растворы, 25 °C)

исследованные полимеры не являются мицеллообразующими, однако могут ассоциировать при увеличении концентрации. Методом динамического рассеяния света на примере ПЭГ (рис. 8) и Pluronic F-127 показано существование частиц двух типов: с гидродинамическим диаметром около 10 и 100 нм [14]. Вероятно, частицы меньшего размера представляют собой индивидуальные молекулы полимера, тогда как более крупные являются ассоциатами из нескольких полимерных молекул. Дикатионные ПАВ образуют с макромолекулами смешанные структуры и способствуют увеличению количества крупных частиц.

Об образовании смешанных полимер-коллоидных агрегатов позволяют говорить и результаты тензиометрических исследований (табл. 1). Изотермы поверхностного натяжения систем дикатионное ПАВ/ПЭГ, имеет две критические точки: первая (ККА₁) отражает образование ассоциатов между ПАВ и ПЭГ, вторая (ККА₂) – согласно традиционной трактовке [15], соответствует стадии насыщения полимера молекулами ПАВ и началу образования свободных мицелл ПАВ, не связанных с макромолекулой. Значение ККА₁ ниже, чем ККМ индивидуального ПАВ, и разница тем больше, чем выше концентрация полимера в системе. Такое поведение характерно и для систем дикатионное ПАВ/блоксополимер. При этом чем выше гидрофобность блоксополимеров, тем ниже значение ККА₁.

При образовании смешанных агрегатов ПАВ/полимер, вероятно, происходит уменьшение плотности заряда поверхностных групп, разделенных оксиэтиленовыми фрагментами блоксополимера, что приводит к падению поверхностного потенциала. С помощью спектральных зондов показано, что добавление ПЭГ в раствор 16-6-16 уменьшает поверхностный потенциал на 10 – 15 мВ, тогда как более гидрофобный Pluronic F-127 сильнее снижает его величину. Подобное изменение потенциала при введении неионных полимеров наблюдается и для монокатионных аналогов, однако в этом случае влияние добавки не столь выражено (табл. 1).

Таблица 1

Значения ККА, поверхностного потенциала и каталитический эффект (k_m/k_0) индивидуальных и смешанных систем на основе катионных ПАВ (25°C)

Система	ККА ₁ *(ККА ₂), мМ	Ψ, мВ	k_m/k_0 ** ацетат 4	k_m/k_0 ** деканоат 5
ЦТАБ	0,8	129	4	29
ЦТАБ+ ПЭГ (0.05М)	0,8	128	4	27
16-6-16	0,045	160	6	120
16-6-16 + ПЭГ (0.05 М)	0,010 (1,8)	145	4	65
16-6-16 + Pluronic F127 (0.05 М)	0,015 (2,3)	121	3	30

* В случае индивидуальных ПАВ ККА₁ представляет собой ККМ

** k_m и k_0 – значения наблюдаемой константы скорости в мицеллярной фазе и в воде при рН 9,2

Образование полимер-коллоидных агрегатов в смешанных системах на основе ПАВ и полимера оказывает влияние на скорость химических процессов. Добавление неионного компонента, подобно добавке сильного электролита, приводит к снижению

каталитического действия мицеллярной системы в процессах гидролиза эфиров карбоновых кислот, что более заметно в случае гидрофобных субстратов (табл. 1).

Особая ситуация возникает, когда водорастворимый полимер содержит реакционно-способные группы, как в случае полиэтиленimina (ПЭИ). Этот полимер, с одной стороны, образуя смешанные агрегаты с дикатионным ПАВ, изменяет его поведение в растворах. С другой стороны, первичные и вторичные группы ПЭИ могут участвовать в химических взаимодействиях, например, в процессах нуклеофильного замещения [16, 17]. Сродство компонентов в смешанной системе ПАВ-ПЭИ может увеличиться, если молекула полимера будет содержать гидрофобные фрагменты. С целью направленного влияния на структуру и свойства полимер-коллоидного комплекса нами проведена серия синтезов, позволяющих вводить в молекулу ПЭИ с молекулярной массой 25000 алкильные радикалы различной длины (C_{10} - C_{16}), в условиях изменения степени алкилирования макромолекулы (от 0,1 до 0,4).

Полученные данные по исследованию агрегационного поведения систем ПЭИ-дикатионные ПАВ согласуются с результатами для бинарных растворов с использованием ПЭГ и блоксополимеров. Наблюдается образование смешанных агрегатов, процесс характеризуется двумя значениями ККА, и чем выше гидрофобность полимера, тем ниже значение $ККА_1$. Каталитическое действие системы ПЭИ/дикатионное ПАВ изучено на примере процесса расщепления ацетата 4. В этом случае наряду с гидролизом реализуется аминолиз, что позволяет с высокими скоростями вести расщепление субстрата в мягких условиях (рН 8 – 10, 25 °С). В этих условиях незамещенный ПЭИ оказывается менее активным, чем алкилированные ПЭИ. Вероятно, гидрофобные взаимодействия полимера и ПАВ облегчают формирование смешанных агрегатов, при этом обеспечивается сближение субстрата, солубилизованного мицеллой, и аминогрупп ПЭИ, что и приводит к значительному ускорению процесса расщепления. Свойства системы дикатионное ПАВ/ПЭИ в значительной степени зависят от рН среды, поэтому, варьируя этот параметр можно изменять сродство компонентов в бинарной системе, а также регулировать вклад процессов гидролиза и аминолиза при взаимодействии с эфирами. Следует отметить, что дикатионные ПАВ характеризуются большим каталитическим эффектом, который проявляется при концентрациях на порядок меньших, чем в случае монокатионного аналога. Поэтапное наращивание каталитического эффекта при переходе от водного раствора к мицеллярному и далее последовательно к системам, содержащим незамещенный ПЭИ и гидрофобизированный ПЭИ (при рН 9,0), можно охарактеризовать следующими рядами ускорения процесса расщепления ацетата 4: 1→4→22→120 в случае ЦТАБ и 1→4→56→200 раз для 16-6-16.

Таким образом, показана возможность контролируемой самоорганизации амфифильных соединений за счет направленного подбора и варьирования их структуры, использования смешанных композиций (бинарные системы ПАВ, системы ПАВ-полимер), введения модифицирующих добавок (электролиты) и изменения внешних условий (рН, температура). Проанализированы особенности формирования функциональных супрамолекулярных систем на основе дикатионных ПАВ, характеризующихся значительным солубилизирующим действием. Установлено, что мицеллярные растворы дикатионных ПАВ в низком концентрационном диапазоне проявляют значительный (свыше двух порядков) каталитический эффект в процессах расщепления сложноэфирных связей, при этом обладают выраженной субстратной специфичностью.

Список использованной литературы

1. *Zakharova L. Ya., Mirgorodskaya A. B., Zhiltsova E. P. et al.* // Molecular Encapsulation: Organic Reactions in Constrained Systems. 2010. P. 397.
2. *Захарова Л. Я., Миргородская А. Б., Жильцова Е. П., Кудрявцева Л. А., Коновалов А. И.* // Изв. АН. Сер. хим. 2004. № 7. С. 1331.
3. *Menger F. M., Keiper J. S.* // Angew. Chem. Int. Ed. 2000. Vol. 39. P. 1906.
4. *Hait S. K., Moulik S. P.* // Current Science. 2002. Vol. 82. P. 1101.
5. *Shukla D., Tyagi V. K.* // J. Oleo. Sci. 2006. Vol. 55. P. 381.
6. *Zana R.* // J. Colloid Interface Sci. 2002. Vol. 248. P. 203.
7. *Миргородская А. Б., Кудрявцева Л. А., Панкратов В. А. и др.* // ЖОХ. 2006. Т. 76. С. 1696.
8. *Миргородская А. Б., Кудрявцева Л. А.* // ЖОХ. 2009. Т. 79. С. 44.
9. *Вылегжанина Н. Н., Миргородская А. Б., Панкратов В. А., Зуев Ю. Ф.* // Коллоидный журнал. 2010. Т. 72. № 2. С. 162.
10. *Миргородская А. Б., Кудрявцева Л. А., Вылегжанина Н. Н., Идиятуллин Б. З., Зуев Ю. Ф.* // Изв. АН. Сер. хим. 2010. № 4. С. 768.
11. *Миргородская А. Б., Яцкевич Е. И., Лукашенко С. С. и др.* // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2011. Вып. 2. С. 75 – 82.
12. *Миргородская А. Б., Валеева Ф. Г., Лукашенко С. С. и др.* // Кинетика и катализ (в печати).
13. *Яцкевич Е. И., Миргородская А. Б., Захарова Л. Я., Коновалов А. И.* // Изв. АН Сер. хим. 2011. № 12. (в печати).
14. *Миргородская А. Б., Яцкевич Е. И., Захарова Л. Я., Коновалов А. И.* // Коллоидный журнал. 2011. Т. 73. № 6. (в печати).
15. *Холмберг К., Йенссон Б., Кронберг Б., Линдман Б.* Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. М. : Бином, 2007. 528 с.
16. *Юрина А. В., Лукашенко С. С., Миргородская А. Б., Захарова Л. Я.* // Физико-химия полимеров. Синтез, свойства и применение : сб. тр. Тверь, 2010. Вып. 16. С. 324.
17. *Zakharova L. Ya., Mirgorodskaya A. B., Yackevich E. I. et al.* // J. Chem. Eng. Data. 2010. Vol. 55. № 12. P. 5848.

Поступила в редакцию 29.09.2011 г.