

УДК 535.8:543.420.62;543.422.5;543.432

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЛИНЗОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

А.А. Жирков*, С.Н. Бендрышева, М.А. Проскурнин, Н.Ю. Рагозина, Б.К. Зуев*

(кафедра аналитической химии; Michael@analyt.chem.msu.ru)

Рассмотрено влияние некоторых распространенных ПАВ (додecilсульфат натрия, Triton X-100, Brij-35, Tween 80) как модификаторов термооптических свойств водных растворов на параметры термлинзового определения некоторых модельных соединений. Обсуждены критерии выбора состава модифицированных сред для определения веществ на уровне следовых концентраций при помощи термлинзовой спектрометрии. Показано, что действие ПАВ на метрологические характеристики определения различных веществ в водных растворах сопоставимо с действием водно-органических смесей. Достигнуто снижение пределов обнаружения в 2,5 мас.% водных растворах ПАВ более чем в два раза по сравнению с термлинзовым определением в их отсутствие.

Ключевые слова: термлинзовая спектрометрия, поверхностно-активные вещества, модификация термооптических свойств водных сред.

Термлинзовая спектрометрия – современный метод молекулярной абсорбционной спектроскопии [1]. В ее основе лежит изменение показателя преломления среды при поглощении лазерного излучения, пропорциональное концентрации поглощающего вещества. Метод обладает чувствительностью, превышающей чувствительность спектрофотометрии на два–три порядка, что позволяет использовать его для определения следовых концентраций различных соединений. На аналитический сигнал метода очень сильно влияют свойства среды, прежде всего теплопроводность и теплоемкость, а также температурная зависимость показателя преломления, что позволяет увеличить чувствительность аналитического определения за счет подбора среды.

В предыдущих работах мы рассмотрели влияние природы среды на чувствительность и воспроизводимость термлинзовых измерений в некоторых распространенных органических растворителях [2], их смесях с водой [3, 4], а также для растворов некоторых электролитов [5]. Эти исследования показали, что сила термооптического эффекта в среде обычно не совпадает с параметрами аналитического определения.

Мицеллярный механизм модификации термооптических свойств среды состоит в нарушении жесткой

структуры воды (разрушении водородных связей) и, как следствие, увеличении величин температурного градиента показателя преломления и понижения значения коэффициента теплопроводности [6].

В ряде работ [6–10] изучены термооптические свойства водных растворов некоторых ПАВ и показано, что они значимо влияют на величину термлинзового сигнала, причем повышение чувствительности измерений в таких растворах более чем вдвое превышает результаты измерений в водных растворах в отсутствие ПАВ. Данные результаты показали возможность использования ПАВ для повышения чувствительности термлинзовых измерений в водных растворах. В то же время известно, что в сложных смесях, содержащих коллоидные частицы и полимерные молекулы, термооптический эффект сопровождается мешающим действием термодиффузии, известным как эффект Сорэ [10], поэтому невозможно только из сравнения термооптических свойств растворов ПАВ оценить метрологические характеристики определения в этих средах.

Настоящая работа посвящена исследованию термооптических свойств водных растворов некоторых распространенных ПАВ для повышения чувствительности термлинзового определения на примерах модельных систем на базе ранее предложенного подхода [2–5].

* Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ул. Косыгина, д. 19, 119991 Москва.

Экспериментальная часть

Аппаратура. Все измерения на этапе спектрофотометрических исследований проводили на спектрофотометре “Shimadzu UVmini 1240CE” (интервал длин волн 400–700 нм). Для термолинзовых измерений использовали лазерный термолинзовый спектрометр, параметры которого описаны в [11]. Термолинза индуцируется в кварцевой кювете ($l = 1$ см) излучением аргонового ионного лазера “Innova 90-6” (“Coherent”, США) с длиной волны, равной 488,0 и 514,5 нм (TEM₀₀-мода, мощность в кювете с образцом 40 мВт). В качестве зондирующего использован He–Ne-лазер “SP-106-1” (“Spectra Physics”, США), 632,8 нм (TEM₀₀-мода, 10 мВт). Сигнал (интенсивность в центре зондирующего луча) с фотодиода подается на блок АЦП–ЦАП, связанный с РС-совместимым компьютером, осуществляющим синхронизацию измерений при помощи специальной программы. Относительное стандартное отклонение измерений на спектрометре 0,01–0,02. Перед проведением термолинзового эксперимента для подтверждения неизменности светопоглощения на рабочих длинах волн аргонового лазера измеряли оптическую плотность всех образцов окрашенных веществ в различных средах на сканирующем спектрофотометре “Shimadzu UVmini 1240CE” с использованием той же кварцевой кюветы ($l = 1$ см), в которой проводили термолинзовые измерения.

Растворители и реагенты. В работе использовали следующие растворители: бидистиллированную деионизированную воду (удельное сопротивление 18 МОм×см, pH 6,5; установка очистки “Milli-Q”, “Millipore”, Франция). Использовали следующие реагенты: *трис*-(1,10-фенантролинат) железа(II) (водный раствор, 0,1 мас.%, “ч.д.а.”); *трис*-(2-нитрозо-1-нафтолат) кобальта(III), (водный раствор, 3×10^{-5} М, “ч.д.а.”); бихромат калия, “ч.д.а.”; додецилсульфат натрия, “ч.д.а.”; Triton X-100 (“Sigma”, “Molecular Biology Product”; США), 100%; Brij-35, “х.ч.”, 20%-й раствор; Tween-80, “х.ч.”, 100%-й раствор. Все растворы готовили непосредственно перед проведением экспериментов. Базовые растворы окрашенных веществ готовили растворением точных навесок в воде. Все взвешивания проводили на аналитических весах с точностью 0,1 мг, а измерения объемов — градуированными пипетками с точностью $\pm 0,01$ мл. Растворение ПАВ проводили при помощи ультразвуковой ванны “Branson” (30–60 мин). *Трис*-(2-нитрозо-1-нафтолат) кобальта(III) синтезировали по следующей методике [12]: навеску (0,5 г) $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ра-

створяли в 200 мл воды с 5 мл HCl (плотность 1,17 г/см³) и нагревали до 70°C. Медленно приливали 100 мл 2%-го 2-нитрозо-1-нафтола, помешивая палочкой. Затем раствор слегка нагревали и осадок *трис*-(2-нитрозо-1-нафтолата) кобальта(III) отфильтровывали на воронке Бюхнера. Полученный комплекс очищали от избытка реагента, промывая его сначала 40 мл HCl (1:4), затем 60 мл воды, затем 40 мл раствора KOH (0.00625 М) и наконец водой до бесцветного фильтрата. Выход продукта после очистки от избытка реагента составил 75%.

Обработка результатов термолинзовых измерений. Термолинзовые измерения представляют собой последовательность циклов включения-выключения индуцирующего лазера (формирования-диссипации термолинзы), дающую серию сигналов θ :

$$\theta = \frac{1}{B} \left(1 + \sqrt{\frac{I_{\text{ВЫКЛ}} - I_{\text{ВКЛ}}}{I_{\text{ВКЛ}}}} \right), \quad (1)$$

где $I_{\text{ВЫКЛ}}$ и $I_{\text{ВКЛ}}$ — интенсивность в центре зондирующего луча в отсутствие термолинзы (выключенный индуцирующий лазер) и при полностью развившейся термолинзе (включенный индуцирующий лазер) соответственно, а геометрический фактор B определен как

$$B = 0,5 \arctg \left(\frac{2mV}{1 + 2m + V^2} \right), \quad (2)$$

где V — расстояние между перетяжкой зондирующего луча и образцом, m — соотношение площадей поперечного сечения зондирующего и индуцирующего лучей в образце. Измеряют усредненный сигнал образца и сходимостр термолинзовых измерений $s_{r\theta}$ (отклонение значения сигнала от цикла к циклу формирования-диссипации термолинзы). Пересчет аналитического термолинзового сигнала и в оптическую плотность проводят по уравнению:

$$A = \frac{\theta}{2,303 E_0 P_e}, \quad (3)$$

где P_e — мощность лазерного излучения с длиной волны λ_e , индуцирующего термолинзу [1, 13]. Параметр E_0 — фактор чувствительности термооптических измерений, определяющий выигрыш в чувствительности по сравнению со спектрофотометрией для мощности индуцирующего излучения в 1 мВт:

$$E_0 = \frac{-dn/dT}{\lambda_p k}, \quad (4)$$

где λ_p — длина волны лазера, dn/dT — температурный градиент показателя преломления и k — коэф-

фициент теплопроводности. Расчет характеристик термолинзового эффекта в жидкостях описан в работе [1].

Для сравнения метрологических характеристик модифицированных ПАВ водных растворов мы предложили параметры SE [2] и RE [14], позволяющие учесть изменение в воспроизводимости термолинзовых измерений на фоне изменения термооптических характеристик модифицированной среды по сравнению с водной:

$$SE = \frac{s_{r0, \text{мод}}}{s_{r0, \text{вод}}} \times \frac{E_{0, \text{вод}}}{E_{0, \text{мод}}}, \quad (5)$$

где индекс “вод” относится к водной среде, а индекс “мод” – к модифицированной (смешанной) среде данного состава, s_{r0} – относительное стандартное отклонение сходимости собственного сигнала растворителя (фона),

$$RE = \frac{s_{r, \text{мод}}}{s_{r, \text{вод}}} \times \frac{E_{0, \text{вод}}}{E_{0, \text{мод}}}, \quad (6)$$

где s_r – относительное стандартное отклонение воспроизводимости в середине диапазона определяемых содержаний (минимум на кривой зависимости $s_r = f(c)$). Параметр SE предназначен для упрощенной оценки предела обнаружения в данной среде, а параметр RE – для оценки коэффициента чувствительности.

Результаты и их обсуждение

Для изучения термооптических свойств растворов ПАВ в качестве индикаторного окрашенного соединения выбраны *трис*-(1,10-фенантролинат) железа(II) и *трис*-(2-нитрозо-1-нафтолат) кобальта(III), вещества, инертные по отношению к исследуемым ПАВ и обладающие большим значением молярного коэффициента поглощения на рабочих длинах волн аргонового ионного лазера, использованного для создания термооптического элемента. Выбор данных соединений объясняется также тем, что ранее они использовались как модельные системы при изучении влияния ПАВ Triton X-100 на метрологические характеристики термолинзового определения Co и Fe в водной среде [9]. Неизменность светопоглощения *трис*-(1,10-фенантролината) железа(II) и *трис*-(2-нитрозо-1-нафтолата) кобальта в растворах ПАВ при рабочих длинах волн аргонового ионного лазера подтверждена спектрофотометрическими измерениями. В качестве еще одного индикаторного окрашенного соединения для изучения термооптических свойств таких растворов выбраны дихромат-ионы. Их светопоглощение в водных

растворах зависит только от pH, и предварительные спектрофотометрические измерения показали, что в интервале pH от 6,0 до 0,2 значимых изменений спектра поглощения в диапазоне длин волн от 480 до 520 нм не происходит.

Значение термолинзового сигнала зависит от многих физико-химических параметров среды, при этом некоторые из них аддитивны только в ограниченных случаях [10, 15]. В результате для смешанных сред зависимость термолинзового сигнала от состава среды имеет сложную форму. Кроме того, как мы показали в работах [2, 14], при оценке метрологических характеристик сред нельзя ограничиваться только рассмотрением силы термолинзового эффекта в среде, т.е. величиной коэффициента чувствительности E_0 (4), так как подобное рассмотрение не учитывает целого ряда эффектов, вносящих серьезный вклад в реальные метрологические характеристики методики, главным из которых является воспроизводимость измерений.

Ранее было показано [6–8, 16, 17], что ПАВ обладают значимым влиянием на термооптические свойства водных растворов. Причем, если их концентрация выше критической концентрации мицеллообразования (ККМ), модифицирующее действие усиливается. В аналитической химии ПАВ обычно используют для модификации химических свойств сред в концентрациях, превышающих ККМ. Полученные нами результаты показывают (табл. 2), что модифицирующее действие ПАВ на термооптические свойства водных растворов выражено сильнее, чем действие высоких концентраций электролитов и соизмеримо с модифицирующим действием органических растворителей. Так, 3 М хлорид натрия и 0,6 М серная кислота, обладающие самым сильным модифицирующим действием из исследованных электролитов [5, 17], повышают значение фактора чувствительности термолинзовых измерений в 1,5 и 2 раза соответственно, в то время как 2,5%-е растворы Triton X-100, Tween 80 и Brij-35 повышают значение фактора чувствительности более чем в два раза.

Известно [1, 10, 18, 19], что наилучшими модификаторами термооптических свойств водных растворов с точки зрения чувствительности измерений являются полярные органические растворители, из которых наибольшее значение в аналитической химии имеют метанол и ацетонитрил. Их широко используют как индивидуально, так и в смеси с водой в хроматографии, капиллярном электрофорезе и прочих методах. В силу того что наиболее сильный

Таблица 1

**Основные параметры водных растворов ПАВ как сред для термолинзового
детектирования, 293 К, $P_e = 40$ мВт ($P = 0,95$; $n = 5$)**

Среда	E_0 , мВт ⁻¹	$E_0/E_{0, \text{вод}}$	$b/b_{\text{вод}}$	RE	$C_{\text{мин, вод}}/c_{\text{мин}}$	SE
Вода	$0,21 \pm 0,02$	1	1	1	1	
Вода – додецилсульфат натрия*						
0,10 М	$0,22 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,01$	–	–	–	–
0,15 М	$0,24 \pm 0,02$	$1,12 \pm 0,01$	–	–	–	–
0,20 М	$0,25 \pm 0,02$	$1,16 \pm 0,02$	–	–	–	–
0,30 М	$0,27 \pm 0,02$	$1,28 \pm 0,02$	1,3	1,3	1,4	1,5
Вода – Brij 35*						
1%	$0,27 \pm 0,02$	$1,28 \pm 0,04$	–	–	–	–
2%	$0,33 \pm 0,03$	$1,56 \pm 0,05$	1,5	1,3	2	1,9
4%	$0,44 \pm 0,03$	$2,09 \pm 0,06$	–	–	–	–
6%	$0,51 \pm 0,04$	$2,42 \pm 0,06$	–	–	–	–
10%	$0,71 \pm 0,05$	$3,3 \pm 0,1$	–	–	–	–
Вода – тритон X-100**						
0,5%	$0,29 \pm 0,02$	$1,38 \pm 0,04$	–	–	–	–
1,0%	$0,34 \pm 0,02$	$1,65 \pm 0,05$	–	–	–	–
1,5%	$0,39 \pm 0,03$	$1,86 \pm 0,05$	–	–	–	–
2,5%	$0,45 \pm 0,03$	$2,16 \pm 0,06$	2,1	1,6	2,0	1,8
Вода – tween 80**						
0,5%	$0,29 \pm 0,02$	$1,38 \pm 0,04$	–	–	–	–
1,0%	$0,39 \pm 0,03$	$1,84 \pm 0,05$	–	–	–	–
1,5%	$0,44 \pm 0,03$	$2,10 \pm 0,06$	–	–	–	–
2,5%	$0,49 \pm 0,03$	$2,35 \pm 0,06$	2,2	1,8	2,5	2,6

Примечание. Данные получены для следующих модельных систем: * – трис-(1,10-фенантролинат) железа(II), ** – трис-(2-нитрозо-1-нафтолат) кобальта(III).

термолинзовый эффект достигается в неполярных и малополярных органических растворителях, не смешивающихся с водой [1, 13], наиболее очевидным вариантом разработки термолинзовых методов определения является использование экстракционно-спектрофотометрических методик. Однако эффект увели-

чения чувствительности термолинзовых измерений в водной среде в присутствии коллоидных растворов [6–8] позволяет использовать их для повышения чувствительности термолинзовых измерений в водных растворах и упрощения методик по сравнению с их экстракционными прототипами.

Приведенные в табл. 1 результаты экспериментов показывают, что неионогенные ПАВ обладают схожим действием как на термооптические свойства растворов, так и на воспроизводимость термолинзовых измерений в них. Интересно, что концентрации 2,5% соответствует рост фактора чувствительности в 1,8–2,4 раза (в зависимости от природы ПАВ), что превосходит чувствительность термолинзовых измерений в растворах метанола и ацетонитрила при концентрации 10 об.% и соизмеримо с их растворами при концентрации 25 об.%. В то же время воспроизводимость измерений в растворах ПАВ оказывается несколько выше, чем в растворах метанола и ацетонитрила при концентрации 10 об.%, и значительно выше, чем в их растворах при концентрации 25 об.%. Таким образом, использование ПАВ позволяет добиться значимого роста чувствительности определения без значительного изменения условий проведения фотометрической реакции.

Однако следует с осторожностью относиться к подбору условий термолинзового эксперимента в растворах ПАВ, особенно в случае использования стационарного сигнала. Как показано в работах [10, 16], в таком случае роль температуропроводности значительно возрастает, и источником трудно устранимых погрешностей может стать эффект Сорэ – образование профиля концентрации под действием локального нагрева. Такая концентрационная линза действует совместно с термолинзой, и для того чтобы разделить их действие, следует пользоваться специальными приемами [10]. В настоящей работе за счет использования относительно высокой частоты прерывания индуцирующего излучения и подбора геометрических параметров оптической схемы термолинзового спектрометра действие эффекта Сорэ сведено к минимуму.

Способ упрощенной оценки метрологических параметров определения в некоторой среде [2, 14], предложенный для термолинзовых измерений в растворах электролитов, органических растворителей и водно-органических смесей, мы применили к растворам ПАВ. Ранее было показано, что подобный подход дает возможность оценить чувствительность термолинзовых измерений в произвольной среде с использованием только двух экспериментов: измерения фонового сигнала и сигнала, соответствующего некоторой средней концентрации окрашенного вещества, т.е. без построения полных градуировок. Данное обстоятельство позволяет значительно облегчить разработку методик определения за счет уско-

рения подбора среды, играющей в термооптических измерениях ключевую роль.

Как видно из табл. 1, для всех исследованных ПАВ, в том числе и анионного додецилсульфата натрия, соотношение коэффициентов наклона градуировочных зависимостей оказывается меньше, чем соотношение факторов чувствительности $b_{\text{мод}} / b_{\text{вод}} < E_{0,\text{мод}} / E_{0,\text{вод}}$, так же, как и в случае водно-органических смесей растворителей [2]. Это показывает, что в реальных условиях измерения аналитического сигнала чувствительность во всех случаях оказывается несколько хуже, чем можно было бы ожидать, исходя только из расчета термооптических характеристик. В то же время величины RE и $b_{\text{мод}} / b_{\text{вод}}$ в растворах ПАВ коррелируют между собой лучше, чем в водно-органических смесях и органических растворителях (ср. данные табл. 2 и [2, 4]). Аналогично для всех исследованных в данной работе растворов ПАВ выполняется соотношение $SE \approx c_{\text{мин, вод}} / c_{\text{мин, мод}}$, причем согласование лучше, чем в водно-органических смесях. Таким образом, предложенный нами подход (совместное использование факторов SE и RE) показал свою работоспособность для модификаторов водной среды различной природы, поскольку воспроизводимость термолинзовых измерений (определяющаяся более широким кругом свойств среды, чем параметры термооптической чувствительности) играет главенствующую роль в аналитических термолинзовых измерениях.

Ярким примером использования ПАВ для модификации водной среды в аналитической термолинзовой спектрометрии является определение кобальта нитрозо-нафтолами в присутствии Triton X-100 [9]. Известно, что Triton X-100 не участвует в фотометрической реакции кобальта с нитрозо-нафтолами, а увеличивает растворимость образовавшегося комплекса на полтора порядка за счет мицеллярной сольubilизации, о чем говорят данные спектрофотометрических исследований [9]. Использование 2,5%-го водного раствора Triton X-100 позволяет провести термолинзовое определение непосредственно в воде, исключая крайне трудоемкую стадию экстракции в органический растворитель с последующей очисткой, и добиться предела обнаружения $5 \cdot 10^{-9}$ М. Поскольку в немодифицированной водной среде провести определение кобальта нитрозо-нафтолами невозможно из-за малой растворимости образующегося комплекса, уместно сравнить результаты термолинзового определения кобальта в присутствии ПАВ с результатами экстракционно-термолинзового и экстракционно-спектрофото-

Т а б л и ц а 2

Сравнение свойств модифицирующего действия веществ различной природы на термлинзовое определение

Модификатор	$E_{0\text{ мод}}/E_{0\text{ аq}}$	RE	$c_{\text{мин, вод}}/c_{\text{мин}}$	SE
Органические растворители [4]:				
ацетонитрил 10 об.%	$1,90 \pm 0,04$	1,7	4*	4,2
ацетонитрил 25 об.%	$8,2 \pm 0,2$	4,7	20*	19
метанол 10 об.%	$1,40 \pm 0,05$	1,2	1,5**	1,7
метанол 25 об.%	$2,30 \pm 0,07$	1,8	2**	2,1
Электролиты [5]:				
хлорид натрия 3М	$1,53 \pm 0,02$	1,5	2**	1,6
серная кислота 0,6 М	$2,03 \pm 0,03$	2,0	2*	2,0
ПАВ:				
Brij 35 2,5 мас.%	$2,10 \pm 0,06$	1,4	2*	1,9
Тритон X-100 2,5 мас.%	$2,16 \pm 0,06$	1,6	2***	1,8
Tween 80 2,5 мас.%	$2,35 \pm 0,05$	1,8	2,5***	2,6
додецилсульфат натрия 0,3 М	$1,28 \pm 0,03$	1,3	—	—

Примечание. Данные получены для следующих модельных систем: * – дихромат аммония, ** – *трис*-(1,10-фенантролинат) железа(II), *** – *трис*-(2-нитрозо-1-нафтолат) кобальта(III).

метрического определений [9]. Показано, что чувствительность определения кобальта в виде *трис*-(2-нитрозо-1-нафтолата) кобальта(III) в 2,5%-м водном растворе Triton X-100 на два порядка уступает по пределу обнаружения экстракционно-термлинзовому варианту с использованием толуола, в то же время превосходя в чувствительности экстракционно-спектрофотометрическую методику также на два порядка. Учитывая, что измерения проводили при небольшой мощности индуцирующего лазерного излучения (40 мВт в кювете с образцом), остается значительный резерв для увеличения чувствительности за счет увеличения мощности источника возбуждающего излучения.

В целом, проведенные исследования показали перспективность использования ПАВ для мягкой моди-

фикации сред с целью улучшения метрологических параметров термлинзового определения. Показано, что модифицирование при помощи ПАВ оказывается не менее эффективным, чем использование водно-органических смесей растворителей с невысоким (25 об.%) содержанием органического компонента. На примере определения кобальта нитрозо-нафтолами показана возможность создания относительно простой высокочувствительной методики термлинзового определения нерастворимого в воде соединения в водном растворе за счет модификации ПАВ. Доказана применимость предложенной ранее для водно-органических смесей упрощенной оценки параметров аналитического определения различных соединений в растворах ПАВ.

Работа осуществлена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-03-00859-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bialkowski S.E.* Photothermal spectroscopy methods for chemical analysis. N.Y., 1996.
2. *Проскурнин М.А., Бендрышева С.Н., Кузнецова В.В., Жирков А.А., Зуев Б.К.* // ЖАХ. 2008. **63**. С. 813.
3. *Филичкина В.А., Аброскин А.Г., Барбалат Ю.А., Головки И.В., Проскурнин М.А., Савостина В.М.* // ЖАХ. 1993. **48**. С. 269.
4. *Жирков А.А., Бендрышева С.Н., Проскурнин М.А., Зуев Б.К.* // ЖАХ. 2008. **63**. С. 1169.
5. *Царьков Д.С., Жирков А.А., Проскурнин М.А.* // Вест. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2007. **48**. С. 257.
6. *Tran C.D.* // Anal. Chem. 1988. **60**. P. 182.
7. *Tran C.D., Van Fleet T.A.* // Anal. Chem. 1988. **60**. P. 2478.
8. *Georges J., Ghazarian S.* // Anal. Chim. Acta. 1993. **276**. N 2. P. 401.
9. *Проскурнин М.А., Смирнова А.А., Филичкина В.А., Ивлева В.Б.* // Аналитика и контроль. 2003. **7**. № 1. С. 54.
10. *Georges J.* // Spectrochim. Acta A. 2007. **69**. P. 1069.
11. *Проскурнин М.А., Аброскин А.Г., Радушкевич Д.Ю.* // ЖАХ. 1999. **54**. С. 101.
12. *Тарасевич Н.И.* // Руководство к практикуму по весовому анализу. М., 1959. С. 154.
13. *Vaesso M.L., Pereira J.R.D., Bento A.C., Palangana A.J., Mansanares A.M., Evangelista L.R.* // Braz. J. Phys. 1998. **28**. N 4. P. 197.
14. *Проскурнин М.А., Бендрышева С.Н., Кузнецова В.В., Жирков А.А., Зуев Б.К.* // ЖАХ. 2008. **63**. С. 1279.
15. *Филиппов Л.П.* // Вест. Моск. ун-та. Сер. физ.-мат. и естественных наук. 1955. № 10. С. 67.
16. *Arnaud N., Georges N.* // Spectrochim. Acta A. 2001. **57**. P. 1085.
17. *Franko M., Tran C.D.* // J. Phys. Chem. 1991. **95**. P. 6688.
18. *Arnaud N., Georges J.* // Spectrochim. Acta A. 2001. **57**. P. 1295.
19. *Snook R.D., Lowe R.D.* // Analyst. 1995. **120**. P. 2051.

Поступила в редакцию 22.10.2007

THE EFFECT OF ELECTROLYTES ON THE SENSITIVITY OF THERMAL-LENS DETERMINATION IN AQUEOUS SOLUTIONS

A.A. Zhirkov, S.N. Bendrysheva, M.A. Proskurnin, N.Yu. Ragozina, B.K. Zuev

(Division of Analytical Chemistry)

Effect of several common surfactants (SDS, Triton X-100, Brij-35, and Tween 80) as modifiers of thermo-optical properties of aqueous solutions on parameters of thermal-lens analytical determination of several model systems are studied. Selection criteria for the compositions of modified aqueous media for thermal lens analytical trace determination are discussed. The increase in the metrological parameters of thermal-lens measurements in nonionic-surfactant solutions is comparable with that for organo-aqueous mixtures. A twofold decrease in the limits of detection compared to aqueous solutions observed in 2.5% m/m surfactant solutions is achieved.

Key words: *thermal-lens spectrometry, surfactants, modification of thermo-optical properties of aqueous media.*

Сведения об авторах: Жирков Андрей Анатольевич – мл. науч. сотр. Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, лаборатория химических сенсоров и определения газообразующих примесей, канд. хим. наук (8(926) 886-6091); Бендрышева Светлана Николаевна – мл. науч. сотр. кафедры аналитической химии химического факультета МГУ (Bendrysheva@mail.ru); Михаил Алексеевич Проскурнин – доцент кафедры аналитической химии МГУ, докт. хим. наук (Michael@analyt.chem.msu.ru); Рагозина Наталья Юрьевна – мл. науч. сотр. кафедры аналитической химии химического факультета МГУ, канд. хим. наук; Зуев Борис Константинович – заведующий лабораторией химических сенсоров и определения газообразующих примесей Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН ((495) 137-3186).