

УДК 535.378+535.379

DOI: 10.31040/2222-8349-2018-0-4-42-47

**СОНОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛЮМИНОЛА В ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДЕ**

© Г.Л. Шарипов, А.М. Абдрахманов, Б.М. Гареев, Л.Р. Якшембетова

Для распространения на неводные системы представлений о механизмах сонолиза, полученных анализом сонолюминесценции водных растворов, проведен поиск и обнаружено свечение в растворах люминола в диметилсульфоксиде при одно-, многопузырьковом и полицентровом режимах сонолиза. Спектр этого свечения совпадает со спектром хемиллюминесценции при окислении люминола кислородом, и оно подавляется ингибитором радикалов – ионолом. Полученные данные доказывают наличие инициируемой радикальными продуктами сонолиза растворителя сонохемиллюминесценции люминола в диметилсульфоксиде, аналогичной известной сонохемиллюминесценции люминола в водных растворах.

Ключевые слова: сонолиз, одно-, многопузырьковая, полицентровая сонолюминесценция, сонохемиллюминесценция, люминол, диметилсульфоксид.

**Введение и постановка задачи исследования.** Обнаруженная в 1992 г. однопузырьковая сонолюминесценция (ОПСЛ) – свечение левитирующего в акустическом поле пузырька, используется для моделирования процессов преобразования энергии механических колебаний в световую и химическую энергию и инициирования сонохимических реакций при сонолизе жидкостей. Установлено, что при акустическом давлении 1.1–1.2 бар пузырек в воде неподвижен, а излучаемый свет ОПСЛ имеет бесструктурный спектр [1]. Вне этого диапазона давлений пузырек совершает движения в области пучности стоячей ультразвуковой волны, но ОПСЛ отсутствует. Однако в щелочных растворах люминола возникает однопузырьковая сонохемиллюминесценция (ОПСХЛ), инициируемая окислением люминола ОН радикалом – продуктом разложения молекулы воды, поступающим из пузырька в раствор [2, 3]. Спектр ОПСХЛ совпадает со спектром радикальной хемиллюминесценции (ХЛ) люминола под действием разных окислителей и отличается от спектра ОПСЛ воды. В тех же растворах при стабилизации пузырька в оптимальном диапазоне давлений ОПСХЛ исчезает, и спектр свечения трансформируется

в обычный спектр ОПСЛ [3]. Данные факты доказывают малую сонохимическую активность неподвижного пузырька со сферической формой, недеформируемой при акустических колебаниях (изменениях радиуса пузырька). Деформации пузырька, вызванные его движениями, уменьшают степень сжатия газа и достижимую в нем температуру. В то же время эти деформации способствуют повышению выхода радикальных продуктов сонолиза [2, 3]. С другой стороны, деформации ведут к попаданию малолетучих веществ, например солей щелочных металлов и лантанидов, из раствора в реакционноспособную горячую зону пузырька, где они образуют возбужденные состояния атомов и ионов металлов. Это подтверждается наблюдением люминесценции данных эмиттеров при ОПСЛ-РД, т.е. ОПСЛ в режиме движения [4]. Понятно, что и ОПСХЛ люминола можно отнести к ОПСЛ-РД.

Рассмотренные особенности ОПСЛ ведут к лучшему пониманию механизмов так называемой многопузырьковой сонолюминесценции (МПСЛ) и соответствующего, широко используемого в практических приложениях, режима сонолиза. Он отличается наличием большого количества пузырьков, совершающих интен-

ШАРИПОВ Глюс Лябибович – д.х.н., Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН,  
e-mail: glus@anrb.ru

АБДРАХМАНОВ Айрат Маратович – к.ф.-м.н., Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН,  
e-mail: abdrakhmanov@rambler.ru

ГАРЕЕВ Булат Махмутович – к.ф.-м.н., Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН,  
e-mail: gareev-bulat@ya.ru

ЯКШЕМБЕТОВА Луиза Рузилевна, Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН,  
e-mail: 07-luiza@mail.ru

сивные перемещения. Поэтому неудивительна известная для многопузырькового сонолиза высокая активность радикальных реакций [1]. Для режима МПСЛ легко регистрируется и давно известна сонохемиллюминесценция (СХЛ) люминола, люминесценция ОН, атомов щелочных металлов и ионов лантанидов [1, 5].

Изложенные представления о механизмах сонолиза относятся к воде и водным растворам. Применение их к неводным растворам требует подтверждения в соответствующих экспериментах. В рамках решения данной задачи нами предпринят поиск СХЛ люминола при однопузырьковом и других режимах сонолиза в диметилсульфоксиде (ДМСО). Этот растворитель привлекателен для исследования сонохимических процессов в неводных системах ввиду его доступности, пожаробезопасности и нетоксичности. Он характеризуется наличием высокого выхода ХЛ при окислении в нем люминола кислородом. Поэтому растворы люминола в ДМСО на воздухе обладают интенсивной спонтанной ХЛ [6]. Сонолюминесценция (СЛ) ДМСО интенсивней сонолюминесценции воды [7].

**Экспериментальная часть.** Экспериментальное оборудование для получения и регистрации ОПСЛ и СЛ нескольких пузырьков (полицентровой СЛ) в сферическом резонаторе, методика экспериментов ранее описаны в работе [8]. Использовались стеклянные колбы-резонаторы диаметром 55–56 мм с приклеенными оппозитно к ее стенкам двумя пьезокерамическими преобразователями ЦТБС-8 «Элпа» диаметром 20 и толщиной 4 мм. Преобразователи, подключенные к генератору сигналов ультразвуковой частоты, создают в резонаторе стоячую волну при частоте 26–27 кГц. Акустическое давление в центре колбы измерялось гидрофоном 8103 Bruel & Kjer. Методика экспериментов по МПСЛ ранее описана в работе [5]. Многопузырьковый сонолиз растворов проводился в стальном термостатируемом реакторе диаметром 20 мм и высотой 75 мм с кварцевым окошком на дне. Объем жидкости в реакторе 20 мл. Для обработки растворов использовали ультразвуковой диспергатор Ace Glass (20 кГц, максимальная мощность 100 Вт). Облучение растворов производилось погружным титановым волноводом с диаметром торца 6 мм, при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и акустической мощности 20 Вт. Спектры всех видов СЛ регистрировались со спектральным разрешением 8 нм с помощью спектрофлуориметра Aminco Bowman, спектры

поглощения – спектрофотометром Perkin Elmer Lambda 750 UV/VIS, спектры фотоллюминесценции (ФЛ) со спектральным разрешением 2 нм – спектрофлуориметром Fluorolog-3 Yobin Ivon. Фотографии картин СЛ получены цифровым зеркальным фотоаппаратом Nikon D300. В экспериментах использовался диметилсульфоксид марки «хч», подвергнутый дополнительной очистке вакуумной перегонкой, гидроксид натрия «осч», ионол «хч», люминол «хч». Растворы насыщали аргоном в течение получаса с постоянной скоростью подачи газа – 10 мл/мин.

**Результаты и их обсуждение.** В отличие от воды, одиночный пузырек в ДМСО не стабилизируется ни при каких акустических давлениях, он всегда движущийся и не светится. Но при 1.3 бар, когда его движения особенно интенсивны, в растворе люминола возникает свечение, представляющее собой ОПСХЛ (рис. 1). Несмотря на высокий квантовый выход ФЛ люминола (около 0.3 в воде [6]), другой возможный, кроме СХЛ, механизм свечения, а именно сонофотоллюминесценция (СФЛ), не может реализоваться в силу отсутствия ОПСЛ растворителя. Как известно, СФЛ – это переизлучение света, испускаемого из газовой фазы пузырька, или пузырьков при МПСЛ, молекулами люминофора в объеме раствора [1]. Максимум спектра наблюдаемого свечения (около 485–490 нм) совпадает с максимумом спектра ХЛ люминола в ДМСО при окислении кислородом и сдвинут более чем на 50 нм в длинноволновую область по сравнению с максимумом ХЛ и СХЛ люминола в воде [2, 3].

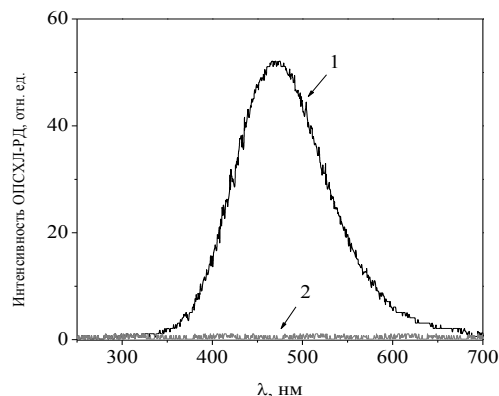


Рис. 1. Спектр ОПСХЛ-РД («танцующий» пузырек) в насыщенном аргоном растворе  $10^{-4}$  моль·л<sup>-1</sup> люминола и  $10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup> NaOH в ДМСО – 1 (частота УЗ – 26 кГц, давление – 1,3 бар). Линия фона (свечение отсутствует) «танцующего» пузырька без люминола – 2

Заметим, что в данном случае сонохемилюминесценция, в отличие от давно обнаруженной СХЛ люминола при МПСЛ в воде [1], получена в предварительно обезгаженном и насыщенном аргоном растворе люминола, так как насыщение аргоном необходимо для регистрации яркой ОПСЛ. Кроме того, получение спектра свечения единственного пузырька на фоне свечения всего объема раствора, обладающего спонтанной «кислородной» хемилюминесценцией с таким же спектром, проблематично. Насыщение аргоном подавляет спонтанную ХЛ. Совпадение спектров ХЛ и СХЛ соответственно при наличии и отсутствии кислорода свидетельствует об одинаковости эмиттеров свечения, но не исключает различий в их механизмах.

Найдено, что ОПСХЛ люминола подавляется ингибитором радикалов – ионолом. Это доказывает возможность инициирования хемилюминесцентного окисления люминола радикальными продуктами сонолиза ДМСО. Наряду с регистрацией ОПСХЛ также зарегистрирована СХЛ люминола в диметилсульфоксиде при других режимах сонолиза. Причем в режиме МПСЛ, регистрируемой с погружным волноводом, многопузырьковая СХЛ (МПСХЛ) уверенно наблюдается в растворах, насыщенных воздухом, несмотря на наличие спонтанной ХЛ люминола под действием  $O_2$  (рис. 2). Как ХЛ, так и МПСХЛ подавляется при наличии в растворе ингибитора радикалов – ионола. Таким образом, радикальный механизм этих свечений подтверждается.

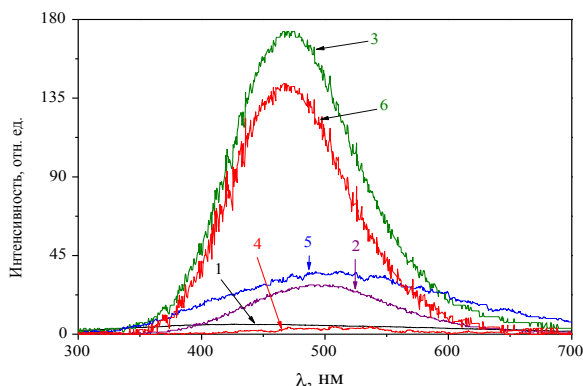


Рис. 2. Спектры люминесценции: 1 – СЛ ДМСО; 2 – ХЛ и 3 – СЛ  $10^{-4}$  моль·л<sup>-1</sup> люминола в ДМСО; 4 – ХЛ и 5 – СЛ  $10^{-4}$  моль·л<sup>-1</sup> люминола в ДМСО в присутствии  $10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup> ионола; 6 – спектр СХЛ люминола, полученный вычитанием из спектра СЛ люминола спектров СЛ растворителя и ХЛ люминола. Температура растворов 10°C, во всех растворах присутствует  $10^{-2}$  моль·л<sup>-1</sup> NaOH

Сюрпризом оказалось то, что в отличие от ОПСХЛ, где максимумы спектров ХЛ и СХЛ совпадают, в случае МПСХЛ на воздухе максимум 475 нм ее спектра (получен вычитанием из спектра СЛ раствора люминола спектров спонтанной ХЛ и спектра СЛ растворителя) сдвинут в коротковолновую область относительно максимума спектра спонтанной ХЛ (490 нм). Возможно, этот факт отражает различия в механизмах «кислородной» (для МПСХЛ) и «бескислородной» (для ОПСХЛ) хемилюминесценции люминола. Так, при проведении многопузырькового сонолиза, как и при экспериментах по ОПСЛ, в сферическом реакторе-резонаторе с внешними пьезопреобразователями, спектры ХЛ и СХЛ аргонированных растворов совпадают ( $\lambda_{max} = 490$  нм).

В варианте без волновода, как видно на рис. 3, МПСХЛ наблюдается в виде пространственно разделенных светящихся областей, очевидно, кластеров кавитационных пузырьков. Сами пузырьки на фотографиях неразличимы. Поэтому данный режим можно обозначить как многокластерная сонолюминесценция (МКСЛ). Такой режим сонолиза реализуется на частотах ультразвука, превышающих собственную частоту акустического резонанса, требуемую для возникновения режима однопузырькового сонолиза в реакторе. Кроме того, в этих условиях, в особенности для концентрированных растворов кислот или солей металлов, можно реализовать другой вариант МПСЛ, а именно – получить свечение в режиме полицентровой СЛ [9].



Рис. 3. Фотография СХЛ при многокластерном сонолизе насыщенного аргоном раствора  $10^{-4}$  моль·л<sup>-1</sup> люминола и  $10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup> NaOH в ДМСО. Экспозиция – 60 с, частота УЗ – 86.3 кГц

Так, на рис. 4 представлены фотография и спектры свечения для режима двухпузырьковой сонолюминесценции. Сами по себе пузырьки на фотографиях, как и при МКСЛ, не различимы. При съемке с достаточно продолжительной экспозицией регистрируются небольшие окрашенные пятна, представляющие собой засвеченные области перемещений пузырьков в окрестностях центров их стабилизации, очевидно,

локальных пучностей стоячей волны [9]. В нашем случае наблюдается красная окраска данных пятен. Такое окрашивание обусловлено интенсивной линией атомарного натрия 589 нм. Натрий присутствует в растворе в высокой концентрации в виде соли  $\text{NaNO}_3$ , что способствует, как отмечалось, созданию режима полицентровой СЛ. Из спектра сонолюминесценции видно, что наряду с интенсивной линией натрия наблюдается и свечение люминола. Поскольку оно подавляется в присутствии ионола при сохранении континуума растворителя (рис. 4), то очевидно, что это СХЛ, а не СФЛ.

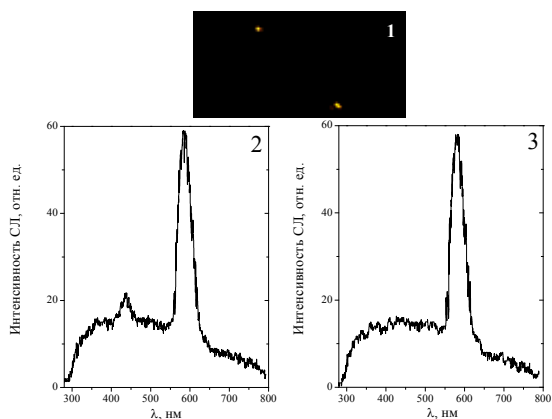


Рис. 4. Фотография – (1) и спектры – (2, 3) двухцентровой СЛ в насыщенных аргоном растворах  $10^{-4}$  моль·л $^{-1}$  люминола и 1 моль·л $^{-1}$   $\text{NaNO}_3$  в ДМСО. Спектр (3) получен в присутствии в растворе  $10^{-3}$  моль·л $^{-1}$  ионола. Частота УЗ – 64.5 кГц, экспозиция для (1) – 30 с

В этом эксперименте также выявлено необычное положение максимума полосы люминола. В отличие от всех других спектров ХЛ и СХЛ в ДМСО, где этот максимум расположен в области 490–495 нм, здесь он наблюдается в области около 440 нм. Очевидно, это связано с разными составами растворов: небольшие концентрации  $\text{NaOH}$  в случае регистрации свечения в режимах МПСЛ, ОПСЛ-РД, МКСЛ и большая концентрация  $\text{NaNO}_3$  при прилицентровой СЛ. Действительно, спектр ХЛ в этом растворе 1 моль·л $^{-1}$   $\text{NaNO}_3$  в ДМСО хорошо совпадает со спектром СХЛ, т.е. максимум его также сдвинут относительно спектров ХЛ растворов  $\text{NaOH}$  меньшей концентрации в коротковолновую область (рис. 5).

Таким образом, спектры ХЛ и СХЛ люминола в ДМСО чувствительны к составу растворов. Кроме того, в отличие от водных растворов, наблюдается большой сдвиг полосы ХЛ и

СХЛ люминола относительно полосы его фотолюминесценции (рис. 6). Эти факты отмечались и ранее [12].

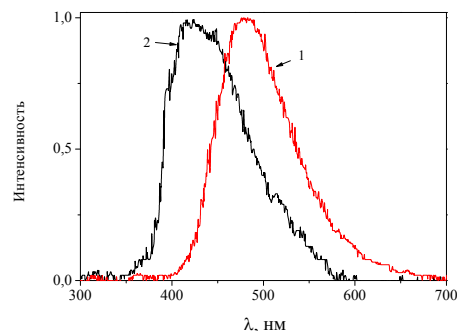


Рис. 5. Спектры ХЛ раствора  $10^{-4}$  моль·л $^{-1}$  люминола в ДМСО: 1 – в присутствии 0,1 моль·л $^{-1}$   $\text{NaOH}$ , 2 – в присутствии 1 моль·л $^{-1}$   $\text{NaNO}_3$ . Спектры нормированы по интенсивности в максимуме

Механизм не только СХЛ люминола, но и просто его ХЛ весьма сложен и окончательной ясности в нем до сих пор не существует. Тем не менее на основании имеющихся данных с большой долей уверенности [6, 11] можно утверждать, что в воде СХЛ люминола, как и его более изученная радиохемиллюминесценция [6, 11], возникает в результате первичной реакции кето-енольной (моноанионной в щелочных растворах [10]) формы люминола с  $\text{OH}$  радикалом, приводящей к образованию анион-радикала люминола. При наличии кислорода этот радикал присоединяет молекулу  $\text{O}_2$ . Возникает перекисный радикал люминола, дальнейшие реакции которого ведут к возбужденному продукту – дианиону 3-аминофталата (схема 1).

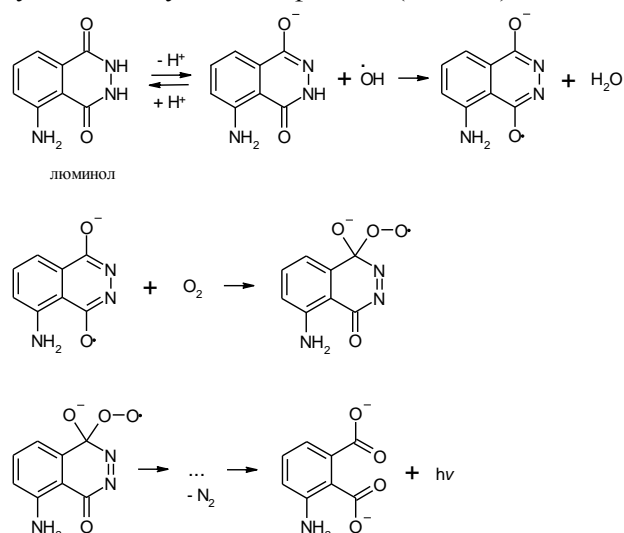


Схема 1. Механизм люминесценции люминола при радиолитизе в воде [10–12]

Отличие хемиллюминесцентных реакций в щелочных растворах ДМСО от реакций в водном растворе заключается, главным образом, в вовлечении в эти реакции различных первичных форм люминола: дианионной (диенольной), вместо моноанионной (кетенольной) [10]. При отсутствии в системе кислорода применение данной схемы целиком проблематично, хотя, как следует при этом из исследованных примеров СХЛ [2, 3], в воде эмиттер свечения, спектр которого мало отличается от спектра ФЛ самого люминола (рис. 6), остается, по-видимому, неизменным. Отличие спектров СХЛ и ХЛ в ДМСО от спектра ФЛ люминола может свидетельствовать о наличии разных эмиттеров ХЛ в воде и ДМСО.

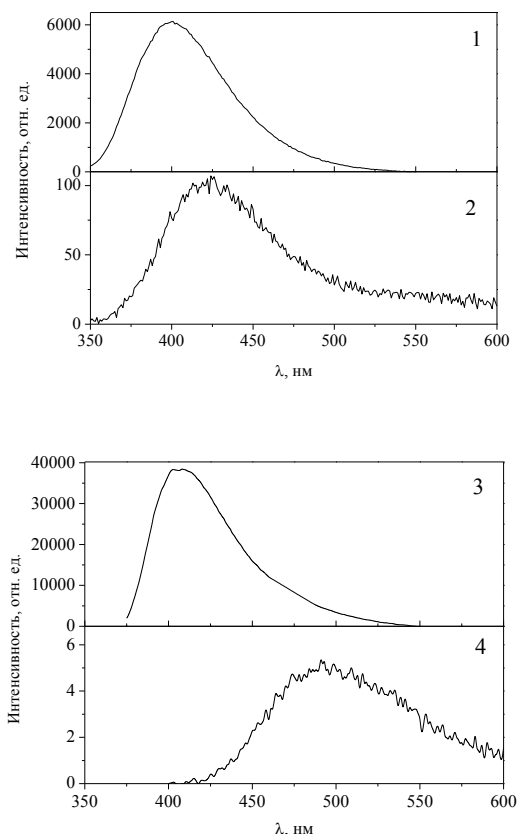


Рис. 6. Спектры ФЛ – 1 и ХЛ при окислении  $\text{H}_2\text{O}_2$  – 2 люминола  $10^{-4}$  моль·л $^{-1}$  в воде в присутствии  $10^{-2}$  моль·л $^{-1}$  NaOH. Спектры ФЛ – 3 и спонтанной ХЛ – 4 люминола  $10^{-4}$  моль·л $^{-1}$  в ДМСО в присутствии  $10^{-2}$  моль·л $^{-1}$  NaOH. Fluorologe-3, для спектров 1 и 3  $\lambda_{\text{возб}} = 320$  нм

Тем не менее, исходя из аналогий в составе продуктов и реакций при сонолизе и радиоллизе [1], а также на основании данных по механизму ХЛ люминола в ДМСО [10, 12], можно предпо-

ложить, что цепочка превращений, ведущих к ХЛ, запускается реакцией люминола (скорее всего, в дианионной форме) с первичными радикальными продуктами сонолиза ДМСО. Такими продуктами гомолитического разложения молекул ДМСО (аналогично разложению воды на Н и ОН) считаются  $\text{CH}_3\text{SO}$  и  $\text{CH}_3$  [7]. Необходим дальнейший анализ возможных схем реакций СХЛ люминола.

**Вывод.** Установлено, что в режимах однопузырькового и полицентрового сонолиза с интенсивно движущимися пузырьками в растворах люминола в диметилсульфоксиде, насыщенных аргоном, а в режиме многопузырькового сонолиза, также и в растворах насыщенных воздухом, регистрируется сонохемиллюминесценция, обусловленная иницированием окисления люминола радикальными продуктами сонолиза растворителя.

### Литература

1. Pankaj S., Ashokkumar M. Theoretical and experimental sonochemistry involving inorganic systems. Springer Science+Business Media. 2011. 404 p.
2. Hatanaka Sh., Mitome H., Yasui K., Hayashi Sh. Single-bubble sonochemiluminescence in aqueous luminol solutions // J. Am. Chem. Soc. 2002. V. 124. P. 10250–10254.
3. Pflieger R., Schneider J., Siboulet B., Mohwald H., Nikitenko S.I. Luminescence of Trivalent Lanthanide Ions Excited by Single-Bubble and Multibubble Cavitationsc // J. Phys. Chem. B. 2013. V. 117, № 10. P. 2979–2984.
4. Sharipov G.L., Abdrakhmanov A.M., Gareev B.M. Luminescence of  $\text{Tb}^{3+}$  and  $\text{Gd}^{3+}$  ions in sonolysis under the conditions of a single bubble moving in aqueous solutions of  $\text{TbCl}_3$  and  $\text{GdCl}_3$  // Technical Physics. Russian J. of Applied Physics. 2013. V. 58, № 2. P. 255–258.
5. Шарипов Г.Л., Хоролжав Р., Абдрахманов А.М., Гареев Б.М., Тухбатуллин А.А. Тушение мелатонином сонохемиллюминесценции люминола в водном растворе // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 44–47. URL: [http://sciencerb.ru/vyp/4\\_2015/44-47.pdf](http://sciencerb.ru/vyp/4_2015/44-47.pdf)
6. Vladimirov Yu.A., Proskurnina E.V. Свободные радикалы и клеточная хемиодминесценция // Успехи биол. химии. 2009. V. 49. P. 341–388.
7. Sharipov G.L., Abdrakhmanov A.M., Yakshembetova L.R. Multibubble sonoluminescence of  $\text{Tb}^{3+}$  ion in aqueous solutions of dimethyl sulfoxide // Russian Chem. Bulletin. 2012. V. 61, № 3. P. 528–531.
8. Шарипов Г.Л., Абдрахманов А.М., Гареев Б.М., Якшембетова Л.Р., Хоролжав Р. Однопузырьковая сонохемиллюминесценция в водном рас-

творе комплекса двухвалентного рутения // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. №3. С. 15–20. URL: [http://sciencerb.ru/vyp/3\\_2017/15-20.pdf](http://sciencerb.ru/vyp/3_2017/15-20.pdf)

9. Sharipov G.L., Gareev B.M., Abdrakhmanov A.M. Few-bubble luminescence in the acoustic field of a spherical resonator in aqueous solutions of sodium and terbium compounds // *Acoustical Physics*. 2013. V. 59, № 5. P. 521–527.

10. Gorsuch J.D., Hercules D.M. Studies on the chemiluminescence of luminol in dimethylsulfoxide and dimethylsulfoxide-water mixtures// *Photochemistry and Photobiology*. 1972. V. 15. P. 567–583.

11. Gundermann K.-D., McCapra F. Chemiluminescence in organic chemistry // Springer-Verlag: Berlin, 1987. 232 p.

12. Lee J., Seliger H.H. Quantum yields of the luminol chemiluminescence reaction in aqueous and aprotic solvents // *Photochemistry and Photobiology*. 1972. V. 15. P. 227–237.

### References

1. Pankaj S., Ashokkumar M. Theoretical and experimental sonochemistry involving inorganic systems. Springer Science+Business Media, 2011. 404 p.

2. Hatanaka Sh., Mitome H., Yasui K., Hayashi Sh. Single-bubble sonochemiluminescence in aqueous luminol solutions. *J. Am. Chem. Soc.*, 2002, vol. 124, pp. 10250–10254.

3. Pflieger R., Schneider J., Siboulet B., Mohwald H., Nikitenko S.I. Luminescence of trivalent lanthanide ions excited by single-bubble and multibubble cavitations. *J. Phys. Chem. B*, 2013, vol. 117, no. 10, pp. 2979–2984.

4. Sharipov G.L., Abdrakhmanov A.M., Gareev B.M. Luminescence of  $Tb^{3+}$  and  $Gd^{3+}$  ions in sonolysis under the conditions of a single bubble moving in aqueous solutions of  $TbCl_3$  and  $GdCl_3$ . *Technical*

*Physics. Russian Journal of Applied Physics*, 2013, vol. 58, no. 2, pp. 255–258.

5. Sharipov G.L., Khoroljav R., Abdrakhmanov A.M., Gareev B.M., Tukhbatullin A.A. Quenching of luminol sonochemiluminescence by melatonin in aqueous solution. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2015, vol 4, pp. 44–47. Available at: [http://sciencerb.ru/vyp/4\\_2015/44-47.pdf](http://sciencerb.ru/vyp/4_2015/44-47.pdf)

6. Vladimirov Yu.A., Proskurnina E.V. Svobodnye radikaly i kletochnaya khemilyuminestsentsiya. *Uspekhi biologicheskoy khimii*, 2009, vol. 49, pp. 341–388.

7. Sharipov G.L., Abdrakhmanov A.M., Yakshembetova L.R. Multibubble sonoluminescence of  $Tb^{3+}$  ion in aqueous solutions of dimethyl sulfoxide. *Russian Chem. Bulletin*, 2012, vol. 61, no. 3, pp. 528–531.

8. Sharipov G.L., Abdrakhmanov A.M., Gareev B.M., Yakshembetova L.R., Khoroljav R.. Single-bubble sonochemiluminescence in aqueous solution of the bivalent ruthenium complex. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2017, no. 3, pp. 15–20. Available at: [http://sciencerb.ru/vyp/3\\_2017/15-20.pdf](http://sciencerb.ru/vyp/3_2017/15-20.pdf)

9. Sharipov G.L., Gareev B.M., Abdrakhmanov A.M. Few-bubble luminescence in the acoustic field of a spherical resonator in aqueous solutions of sodium and terbium compounds. *Acoustical Physics*, 2013, vol. 59, no. 5, pp. 521–527.

10. Gorsuch J.D., Hercules D.M. Studies on the chemiluminescence of luminol in dimethylsulfoxide and dimethylsulfoxide-water mixtures. *Photochemistry and Photobiology*, 1972, vol.15, pp. 567–583.

11. Gundermann K.-D., McCapra F. Chemiluminescence in organic chemistry. Springer-Verlag: Berlin, 1987. 232 p.

12. Lee J., Seliger H.H. Quantum yields of the luminol chemiluminescence reaction in aqueous and aprotic solvents. *Photochemistry and Photobiology*, 1972, vol. 15, pp. 227–237.

## THE SONOCHEMILUMINESCENCE OF LUMINOL IN DIMETHYLSULFOXIDE

© G.L. Sharipov, A.M. Abdrakhmanov, B.M. Gareev, L.R. Yakshembetova

Institute Petrochemistry and Catalysis – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre  
of the Russian Academy of Sciences

141, prospect Oktyabrya, 450075, Ufa, Russian Federation

For distribution in the non-water systems of ideas about the mechanisms of the sonolysis obtained by the analysis of aqueous solutions sonoluminescence, searched and found to glow in solutions of luminol in dimethylsulfoxide at a single-, multi- and few bubble sonolysis. Emission spectrum coincides with the spectrum of luminol chemiluminescence during the oxidation of oxygen, and it is suppressed radical inhibitor, namely, ionol. Received data demonstrate the presence of luminol sonochemiluminescence in dimethylsulfoxide initiated radical products sonolysis of solvent analogously known sonochemiluminescence of luminol in aqueous solutions.

Key words: sonolysis, single-, multi-, and few bubble sonoluminescence, sonochemiluminescence, luminol, dimethylsulfoxide.