

В.О. Кловак*, С.О. Лелюшок, С.А. Куліченко, О.А. Запорожець

ФЛЮОРЕСЦЕНТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗЧИНІВ РОДАМІНУ 6Ж ТА РОДАМІНУ С У ВОДНО-МЦЕЛЯРНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПАР

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 64, Київ, 01601, Україна*

*vikaklovak@ukr.net

Досліджено вплив поверхнево-активних речовин різних типів та їх сумішей на флюоресцентні характеристики водних розчинів родаміну 6Ж та родаміну С. Проведено дослідження впливу довжини вуглеводневого радикалу катіонних ПАР на інтенсивність флюоресценції водних розчинів барвників. Виявлено нівелюючий вплив дії неіонної ПАР Triton X-100 на флюоресцентні властивості асоціатів родаміну 6Ж та родаміну С з гідрофобними та помірно гідрофобними катіонними ПАР. Встановлено зменшення інтенсивності сигналу родаміну 6Ж у доміцелярних розчинах аніонної ПАР додецилсульфату натрію. Ефект використано при розробці умов флюоресцентного детектування вмісту аніонних ПАР у водах.

К л ю ч о в і с л о в а: флюоресценція, поверхнево-активні речовини, родамін 6Ж, родамін С, додецилсульфат натрію, цетилпіридинію хлорид, Triton X-100.

ВСТУП. Серед різних методів аналітичного детектування флюоресцентні методи відзначаються високою чутливістю та вибірковістю, що дозволяє проводити не лише визначення різноманітних речовин, а й отримувати інформацію щодо їх розподілу у живих клітинах [1]. В останні роки як супрамолекулярні середовища все частіше використовують поверхнево-активні речовини (ПАР) для проведення аналітичних реакцій. Закономірності та способи раціонального використання таких систем детально вивчені у різних методах аналізу, у тому числі для

спектрофотометрії [2]. Предметом дослідження є вплив природи ПАР та їх гідрофобності на сигнал флюоресценції барвників у розчинах. Використання міцелярних систем дає можливість збільшити квантові виходи, інтенсивність флюоресценції і, відповідно, знизити межі виявлення аналітів завдяки зміні їх фотофізичних характеристик та характеру мікрооточення [3].

Поверхнево-активні речовини широко використовують у багатьох сферах людської діяльності [3, 4] та науці [5]. У зв'язку з цим, значні кількості ПАР по-

© А.Н. Козачкова, Н.В. Царик, В.И. Пехньо, 2019

трапляють до природних водних систем, що потребує контролю їх концентрації в місцях локального застосування [6, 7]. Аніонні поверхнево-активні речовини (АПАР) є найбільш поширеними. Для їх визначення зазвичай застосовують спектрофотометричні [8] та потенціометричні методи [9]. Для розділення, концентрування та визначення аніонних ПАР у складних матрицях часто використовують екстракцію та хроматографічні методи [10]. Найбільш розповсюдженими серед АПАР є додецилсульфат і додецилбензолсульфонат натрію, що входять до складу більшості сучасних миючих засобів [11].

Родаміни – група флуоронових барвників, головними характеристиками яких є високі фотостабільність, коефіцієнт екстинції та квантовий вихід флюоресценції [12, 13]. Характерними представниками ряду є родамін 6Ж та родамін С, які знаходять використання у спектрофотометричному [14], колориметричному [15] та флюоресцентному методах аналізу [16–18], а також в якості індикаторних зондів при дослідженні природи міцел ПАР [19, 20].

У роботі дослідили вплив ПАР різних типів та їх гідрофобності на флюоресцентні характеристики розчинів родаміну 6Ж та родаміну С.

ЕКСПЕРИМЕНТ І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ. Флюоресцентними реагентами у роботі були катіонні барвники родамін 6Ж та родамін С кваліфікації ч.д.а. Для створення організованого середовища брали неіонну ПАР Triton X-100 (TX-100). В якості аніонної ПАР використовували додецилсульфат натрію

(ДДСН), катіонних ПАР (КПАР) – галогеніди алкілпіридиніїв з $n=11-18$. Використані ПАР були фірм «Merck» та «Рехімі» з вмістом основної речовини >99%. Робочі розчини родамінів та ПАР готували розчиненням точних наважок у дистильованій воді.

Реєстрацію спектрів флюоресценції здійснювали за допомогою люмінесцентного спектрометра PerkinElmer LS 55. Кислотність розчинів контролювали рН-метром рН 340 зі скляним електродом ЭСЛ-43-07.

При дослідженні впливу кислотності на флюоресцентні характеристики барвників встановлено, що для водних розчинів родаміну 6Ж (R6G) і у присутності катіонної та аніонної ПАР цетилпіридиній хлориду (ЦПХ) та додецилсульфату натрію, відповідно, максимуми довжин хвиль емісії (λ_{\max}) в інтервалі рН 1–10 змінюються мало ($\lambda_{\max} \approx 554$ нм). При рН 11–12 спостерігається зсув максимуму довжин хвиль флюоресценції в короткохвильову область ($\lambda_{\max} \approx 549$ нм). У присутності неіонної ПАР TX-100 у всьому інтервалі рН максимуми довжин хвиль емісії зсуваються у довгохвильову ділянку спектру ($\lambda_{\max} \approx 563$ нм).

Макимуми довжин хвиль флюоресценції водних розчинів родаміну С (RC) та у присутності ЦПХ і ДДСН в інтервалі рН 1-2 спостерігаються при $\lambda \approx 585$ нм, а при рН >2 – $\lambda_{\max} \approx 580$ нм. У присутності неіонної ПАР TX-100 максимуми довжин хвиль емісії зсуваються в довгохвильову область. Так, в інтервалі рН 1–3 максимум спостерігається при $\lambda \approx 590$ нм, а при рН ≥ 4 $\lambda_{\max} \approx 580$ нм (рис. 1).

Інтенсивність флюоресценції водних

розчинів родаміну 6Ж та у присутності ЦПХ й ДДСН в усьому інтервалі рН змінюється мало. Примітно, що додавання до розчину родаміну 6Ж неіонної ПАР знижує сигнал флюоресценції в усьому діапазоні рН.

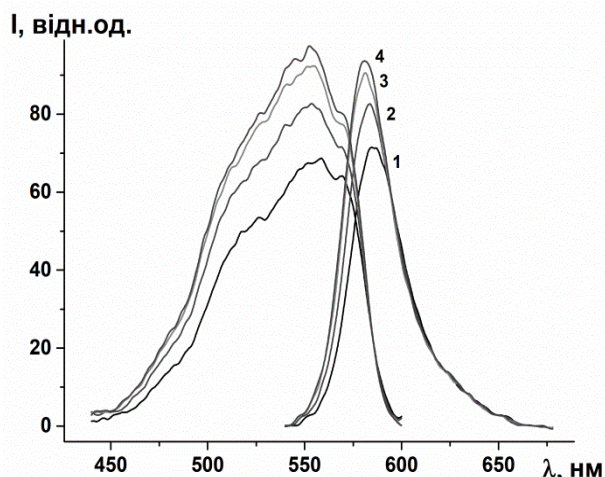


Рис. 1. Спектри збудження та емісії флюоресценції водних розчинів родаміну С при різних значеннях рН. $C_{RC}=1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л, рН 1 (1), рН 3 (2), рН 5 (3), рН 8(4).

Для водних розчинів родаміну С та у присутності КПАР і АПАР в інтервалі рН 1–4 інтенсивність флюоресценції зростає, а при рН>4 – виходить на «плато» (рис.2, криві 1–3). У присутності ТХ-100 інтенсивність сигналу розчинів барвника зростає у діапазоні рН 1–5, а при рН>5 досягається «плато» (рис. 2, крива 4). Перегини залежностей інтенсивності флюоресценції барвників від рН корелюють з їх відповідними константами дисоціації [14].

Виходячи з отриманих даних, подальші дослідження систем на основі родаміну 6Ж проводили при рН 4,0, а розчинів родаміну С – при рН 10,0.

У роботі дослідили вплив природи

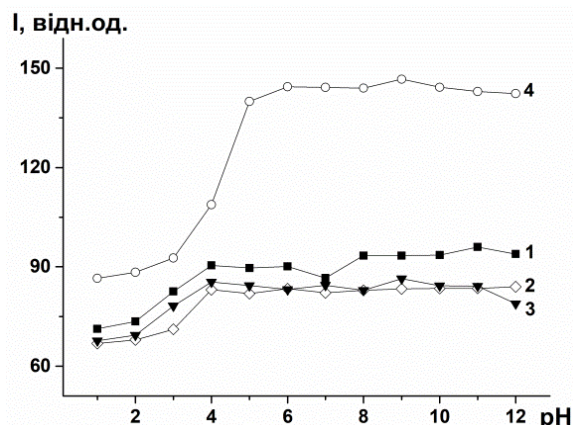


Рис. 2. Залежність інтенсивності емісії флюоресценції водних розчинів родаміну С (I) у присутності ПАР від рН.

$C_{RC}=1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л (1-4),
 $C_{ЦПХ}=2,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л (2),
 $C_{ДДСН}=2,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л (3),
 $C_{ТХ-100}=3,4 \cdot 10^{-2}$ моль/л (4).

ПАР різних типів на флюоресцентні характеристики розчинів барвників. Завдяки високим солубілізаційним та стабілізуючим властивостям розчини неіонних ПАР розглядали як організовані супрамолекулярні середовища для забезпечення оптимальних характеристик досліджуваних асоціатів барвник–ПАР. Тому важливо було з'ясувати концентраційні умови раціонального використання ТХ-100 у досліджуваних системах. Так, встановлено, що в діапазоні концентрацій неіонної ПАР $0-8,7 \cdot 10^{-3}$ моль/л спостерігається зменшення інтенсивності сигналу індивідуальних розчинів родаміну 6Ж, а при $C_{ТХ-100} > 8,7 \cdot 10^{-3}$ моль/л досягається «плато» (рис. 3, крива 1). Такий вплив неіонної ПАР можна пояснити частковою солубілізацією та асоціацією ТХ-100 до високо гідрофобного родаміну 6Ж. На противагу до цього, в інтервалі концентрацій НПАР $0-2,6 \cdot 10^{-2}$ моль/л інтенсивність

флюоресценції менш гідрофобного родаміну С зростає. При подальшому збільшенні вмісту ТХ-100 інтенсивність сигналу змінюється мало (рис. 3, крива 2).

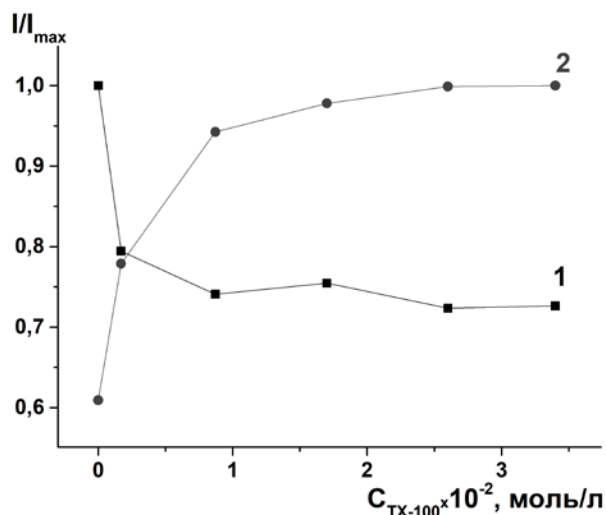


Рис. 3. Нормована залежність інтенсивності емісії флюоресценції родаміну бж (1) та родаміну С (2) від концентрації ТХ-100. $C_R=1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л (1,2), рН 4,0 (1), 10,0 (2).

Положення максимумів емісії флюоресценції розчинів родаміну бж в інтервалі концентрації ТХ-100 $0-1,7 \cdot 10^{-4}$ моль/л залишаються незмінними ($\lambda_{\text{max}} \approx 554$ нм). При концентрації ТХ-100 більше критичної концентрації міцелутворення [21] максимуми довжин хвиль емісії флюоресценції зсуваються в довгохвильову ділянку спектру і $\lambda_{\text{max}} \approx 562$ нм (рис. 4, крива 2). Зміна концентрацій ТХ-100 на положення максимумів емісії флюоресценції розчинів родаміну С впливає мало.

З огляду на отримані дані, подальші дослідження флюоресцентних характеристик водно-міцелярних систем барвник-ПАР-НПАР проводили при концентрації ТХ-100 $3,4 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

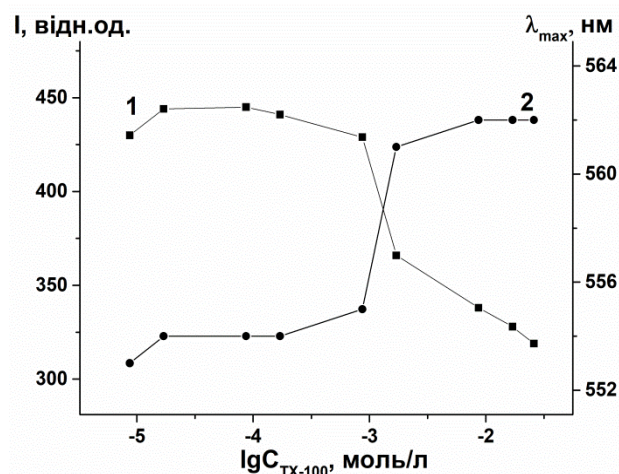


Рис. 4. Залежність інтенсивності емісії флюоресценції (I) та положення максимуму довжин хвиль емісії флюоресценції (2) розчинів родаміну бж від концентрації ТХ-100. $C_{R6G}=1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л, рН 4,0.

При додаванні до водного розчину родаміну бж катіонного цетилпіридиній хлориду в діапазоні концентрацій $0-5,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л інтенсивність флюоресценції змінюється мало. Подальше збільшення вмісту КПАР призводить до зменшення сигналу (рис. 5, крива 1), що можна пояснити утворенням гідрофобних асоціатів барвник-КПАР, які обумовлюють концентраційне гасіння при $C_{\text{КПАР}}$ більше критичної концентрації міцелутворення.

В інтервалі концентрацій ЦПХ $0-5,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л інтенсивність флюоресценції розчинів родаміну С також змінюється мало. Разом з цим подальше підвищення вмісту катіонної ПАР призводить до збільшення інтенсивності сигналу у міцелярних розчинах ЦПХ. При $C_{\text{КПАР}} \geq 1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л інтенсивність змінюється мало.

Максимуми довжин хвиль емісії

флюоресценції для досліджуваних розчинів родаміну 6Ж в інтервалі концентрацій ЦПХ $0-1,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л залишаються незмінними і $\lambda_{\max} \approx 554$ нм. При більших концентраціях КПАР положення максимумів зсувається в довгохвильову ділянку спектру (рис. 5, крива 2). З іншого боку, для родаміну С за цих умов максимуми довжин хвиль емісії флюоресценції змінюються несуттєво.

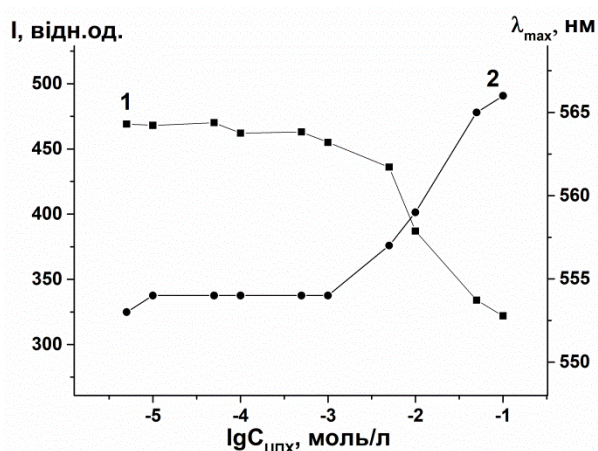


Рис. 5. Залежність інтенсивності емісії флюоресценції (I) та положення максимуму довжин хвиль емісії флюоресценції (λ_{\max}) водних розчинів родаміну 6Ж від концентрації ЦПХ. $C_{R6G} = 1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л, рН 4,0.

Характер впливу катіонної ПАР на флюоресцентні характеристики барвників у присутності неіонної ПАР ТХ-100 змінюється. Так, в інтервалі концентрацій КПАР $0-5,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л інтенсивність сигналу асоціатів барвників з ЦПХ змінюється мало. При збільшенні вмісту катіонної ПАР інтенсивність флюоресценції асоціатів родаміну 6Ж з ЦПХ зменшується, при цьому в розчинах родаміну С зменшення сигналу є більш суттєвим. Примі-

тно, що положення максимумів довжин хвиль емісії для потрійних систем барвник–КПАР–НПАР практично не змінюються.

Дослідження впливу гідрофобності (числа атомів вуглецю у вуглеводневому радикалі, n) катіонних ПАР на флюоресцентні властивості водних розчинів асоціатів барвник–КПАР проводили при двох фіксованих концентраціях КПАР – $1,0 \cdot 10^{-5}$ та $5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Перша концентрація близька до умов утворення стехіометричних асоціатів барвник:КПАР=1:1, а друга – до значень критичної концентрації міцелоутворення катіонних ПАР у розчинах. Отримані для чистих водних розчинів дані порівнювали для таких у присутності неіонної ПАР.

Встановлено, що при додаванні до водних розчинів барвників та у присутності НПАР катіонних ПАР з концентрацією $1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л інтенсивність флюоресценції утворених асоціатів практично не змінюється. На відміну від цього при концентрації катіонних ПАР $5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л вплив гідрофобності КПАР простежується для обох реагентів. Так, для водних систем родамін С–КПАР залежність $I=f(n)$ характеризується збільшенням інтенсивності флюоресценції зі збільшенням гідрофобності катіонної ПАР (рис. 6, 1). Для найбільш гідрофобного КПАР з $n=16$ сигнал максимальний, а сама залежність $I=f(n)$ характеризується перегином в області $n=13$. Такий вплив гідрофобності є типовим для розчинів асоціатів реагент–КПАР і пояснюється збільшенням ролі гідрофобних взаємодій і підсиленням сольобілізації в системах за участю довголанцюгових ПАР [2].

Залежність інтенсивності флюоресценції від числа атомів вуглецю у вуглеводневому радикалі КПАР для водних розчинів родаміну бж характеризується поступовим зменшенням сигналу зі збільшенням гідрофобності катіонних ПАР (рис. 6, 2). Такий ефект можна пояснити утворенням асоціатів за рахунок електростатичного притягання реагенту та ПАР, підсиленого гідрофобними взаємодіями та сольобілізацією в системі [22].

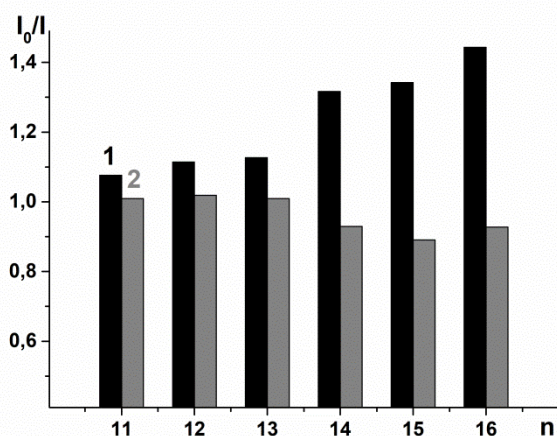


Рис. 6. Нормована залежність інтенсивності емісії флюоресценції водних розчинів родаміну С (1) та родаміну бж (2) з КПАР від числа атомів вуглецю (n) у вуглеводневому радикалі галогенідів алкілпіридиніїв. $C_R=1,0 \cdot 10^{-5}$, $C_{\text{КПАР}}=5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л (1,2); рН 4.0 (1), 10.0 (2).

У роботі встановлено нівелюючу дію міцелярних розчинів неіонної ПАР на флюоресцентні характеристики асоціатів барвників з КПАР різної гідрофобності. Так, у середовищі ТХ-100 інтенсивність флюоресценції досліджених асоціатів практично однакова.

Для водних систем реагент–АПАР виявлено зменшення інтенсивності флюо-

ресценції розчинів родаміну бж при додаванні додецилсульфату натрію в діапазоні концентрацій $0-1,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л. При подальшому збільшенні вмісту АПАР інтенсивність сигналу зростає і при $C_{\text{ДДСН}} \geq 1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л виходить на «плато» (рис. 7, а, крива 1). При додаванні до водного розчину родаміну С аніонного ДДСН у діапазоні концентрацій $0-1,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л інтенсивність флюоресценції змінюється мало. Подальше підвищення вмісту ДДСН призводить до збільшення інтенсивності сигналу асоціатів барвник–АПАР і при $C_{\text{ДДСН}} \geq 5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л досягається «плато» (рис. 7, б, крива 1).

Положення максимумів довжин хвиль емісії флюоресценції для розчинів родаміну бж в інтервалі концентрацій ДДСН $0-5,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л змінюються несуттєво і $\lambda_{\text{max}} \approx 554$ нм. У діапазоні концентрацій аніонної ПАР $1,0 \cdot 10^{-4}-1,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л максимуми довжин хвиль зсуваються в короткохвильову ділянку спектру. При концентрації ДДСН $\geq 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л $\lambda_{\text{max}} \approx 561$ нм (рис. 7, а, крива 2). Положення максимумів довжин хвиль емісії асоціатів родаміну С з ДДСН в усьому інтервалі концентрацій АПАР змінюється мало (рис. 7, б, крива 2).

Для трикомпонентних систем реагент–ДДСН–ТХ–100 у діапазоні концентрацій аніонної ПАР $0-1,0 \cdot 10^{-2}$ моль/л інтенсивність флюоресценції змінюється мало, а при подальшому збільшенні вмісту ДДСН інтенсивність сигналу зростає.

Положення максимумів довжин хвиль емісії флюоресценції таких систем залишається незмінним. Отримані дані показують можливість детектування вмісту

аніонних ПАР у водах з родаміном 6Ж флюоресцентним методом. В інтервалі

концентрацій ДДСН $5 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л залежність $I=f(C_{\text{ПАР}})$ лінійна. Правильність отримуваних результатів перевіряли методом «введено–знайдено» при аналізі модельних розчинів з відомим вмістом аніонної ПАР (табл.1). Оцінене значення межі виявлення ДДСН становить $4,9 \cdot 10^{-6}$ моль/л (1,4 мг/л).

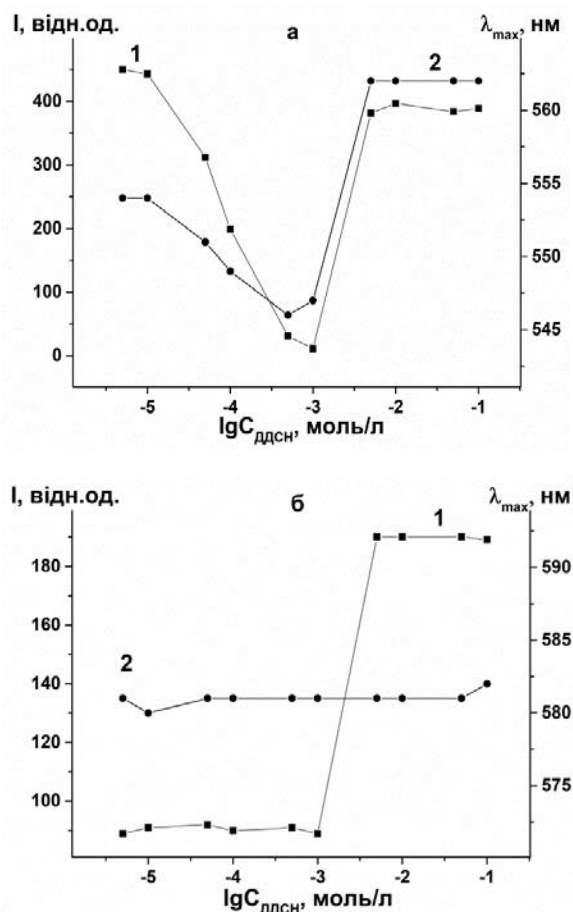


Рис. 7. Залежність інтенсивності емісії флюоресценції (I) та положення максимуму довжин хвиль емісії флюоресценції (2) водних розчинів родаміну 6Ж (а) та родаміну С (б) від концентрації ДДСН. $C_R=1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л (а, б), рН 4,0 (а), 10,0 (б).

Запропоновані умови були використані для визначення залишкового вмісту аніонної ПАР у водах відполіскування білизни. Тест є актуальним для оптимізації процедур прання білизни та оцінки залишків миючого засобу на білизні після його прання.

Для визначення ДДСН у водах відполіскування фрагмент зразку бавовняної тканини розміром 10×10 см поміщали у 50 мл розчину ДДСН з концентрацією $1,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л та перемішували декілька хвилин. Далі проводили послідовне п'ятиразове відполіскування зразку з використанням 50 мл дистильованої води. Води відполіскування поміщали у пробірки об'ємом 10,0 мл, кожна з яких містила по 1,0 мл $1,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л розчину родаміну 6Ж. Вміст пробірок ретельно перемішували та за допомогою розчину HNO_3 встановлювали рН 4,0. Залишковий вміст аніонної ПАР у водах визначали за допо-

Т а б л и ц я 1

Результати флюоресцентного детектування ДДСН у водах ($n=3, p=0,95$)

Введено ДДСН, мг/л	Дистильована вода		Водопровідна вода	
	Знайдено ДДСН, мг/л	S_f	Знайдено ДДСН, мг/л	S_f
1,80	$1,80 \pm 0,07$	0,010	$1,78 \pm 0,06$	0,008
5,00	$4,99 \pm 0,04$	0,006	$5,01 \pm 0,04$	0,005
30,0	$30,0 \pm 0,1$	0,008	$30,0 \pm 0,1$	0,009

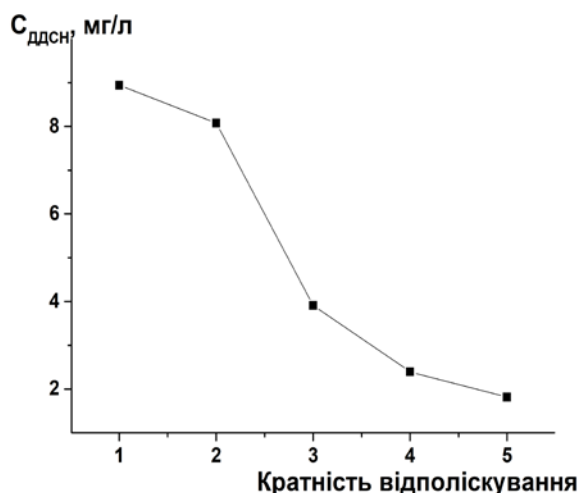


Рис. 8. Вміст аніонної ПАР у водах відполіскування.

могою відповідної градуувальної залежності.

Наведені на рис.8 результати показують очікуване монотонне зменшення вмісту АПАР зі збільшенням кратності відполіскування з перегином залежності після третього повторення процедури. Після шостого відполіскування аніонної ПАР у розчині не виявлено.

ВИСНОВКИ. Досліджено вплив катіонних, аніонних, неіонних поверхнево-активних речовин та їх сумішей на флуоресцентні властивості водних розчинів родаміну бж та родаміну С. Показано специфіку впливу ПАР на інтенсивність сигналу гідрофобного родаміну бж та більш гідрофільного родаміну С. Виявлено нівелюючий вплив неіонної поверхнево-активної речовини Triton X-100 на флуоресцентні властивості асоціатів барвник-ПАР у розчинах. Встановлено зменшення інтенсивності флуоресценції родаміну бж у доміцелярних розчинах аніонного додецилсульфату натрію. Запро-

поновано методику флуоресцентного детектування ДДСН за реакцією з родаміном бж, яка була випробувана при оцінці вмісту аніонних ПАР у водах відполіскування білизни після його прання.

ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРОВ РОДАМИНА бж И РОДАМИНА С В ВОДНО-МИЦЕЛЛЯРНЫХ СРЕДАХ ПАВ

В.О. Кловак*, С.А. Лелюшок, С.А. Куличенко, О.А. Запорожец

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, ул. Владимирская, 64, Киев, 01601, Украина

*e-mail: vikaklovak@ukr.net

Исследовано влияние поверхностно-активных веществ различных типов и их смесей на флуоресцентные характеристики водных растворов родамина бж и родамина С. Прослежена специфика влияния длины углеводородного радикала катионных ПАВ на интенсивность флуоресценции водных растворов красителей. Обнаружено нивелирующее влияние действия неионной ПАВ Triton X-100 на флуоресцентные свойства ассоциатов родамина бж и родамина С с гидрофобными и умеренно гидрофобными катионными ПАВ. Установлено уменьшение интенсивности сигнала родамина бж в домицеллярных растворах анионной ПАВ додецилсульфата натрия. Полученный эффект использовали при разработке условий флуоресцентного детектирования содержания анионных ПАВ в водах.

К л ю ч е в ы е с л о в а: флуоресценция, поверхностно-активные вещества, родамин бж, родамин С, додецилсульфат натрия, цетилпиридиния хлорид, Triton X-100.

FLUORESCENCE CHARACTERISTICS OF RHODAMINE 6G AND RHODAMINE C IN WATER-MICELLAR SURFACTANT ENVIRONMENTS

V.O. Klovak, S.O. Lelyushok, S.A. Kulichenko, O.A. Zaporozhets*

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64Volodymirskaya Str., Kyiv, 01601, Ukraine
e-mail: vikaklovak@ukr.net

The influence of cationic, anionic, nonionic surfactants and their mixtures on the fluorescence characteristics of rhodamine 6G and Rhodamine C solutions has been investigated. The fluorescence intensity of aqueous solutions of rhodamine 6G and in the presence of cetylpyridinium chloride and sodium dodecyl sulfate has almost unchanged throughout the pH range. The fluorescence intensity of aqueous and water-micellar rhodamine C solutions has been increased in the pH 1-4 range; the signal has been remained unchanged at high pH values. The studies have been carried out at pH 4 for rhodamine 6G and at pH 10 for rhodamine C. The fluorescence characteristics of water-micellar dye - surfactant - non-ionic surfactant systems have been performed at a concentration of Triton X-100 of $3.4 \cdot 10^{-2}$ mol/l. The interaction with cationic surfactants has shown differences character between the $I=f(n)$ dependences for aqueous solutions of highly hydrophobic rhodamine 6G and more hydrophilic rhodamine C. The study of the effect of the hydrocarbon radical length on the intensity of the fluorescence of rhodamine 6G and rhodamine C has been carried out at two concentrations of cationic surfactants: under the condition of the formation of stoichiometric associates dye with cationic surfactant and in the region of the micellar concentrations of cationic surfactants. The character of the influence of the length of the hydrocarbon radical cationic surfactants on

the fluorescence intensity of the dyes can be explained by the increasing role of hydrophobic interactions and the enhancement of solubilization in systems involving long-chain surfactants. The difference in the nature of the associates of rhodamine 6G and rhodamine C with hydrophobic and moderately hydrophobic cationic surfactants has been counterbalanced in the presence of Triton X-100. Reduction of fluorescence intensity of rhodamine 6G in domicile solutions of anionic sodium dodecyl sulfate has been established. The method of fluorescence detection of sodium dodecyl sulfate in reaction with rhodamine 6G has been proposed. The method has been tested in determining of anionic surfactants in the waters after washing clothes.

К е у в о р д с: fluorescence, surfactants, rhodamine 6G, rhodamine C, sodium dodecyl sulfate, cetylpyridinium chloride, Triton X-100.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Demchenko A.P.* Introduction to Fluorescence Sensing. – Springer Verlag, 2009.
2. *Саввин С.Б., Чернова Р.К., Штыков С.Н.* Поверхностно-активные вещества. – М.: Наука, 1991.
3. *Базель Я.Р., Антал И.П., Лавра В.М. и др.* Методы определения анионных поверхностно-активных веществ // Журн. аналит. химии. – 2014. – **69**, № 3. – С. 228–253.
4. *Robert Lange K.* Surfactants: A Practical Handbook. – Cincinnati: Hanser Gardner Publ., 1999.
5. *Jin W., Al-Dulaymi M., Badea I. et al.* Cellular Uptake and Distribution of Gemini Surfactant Nanoparticles Used as Gene Delivery Agents // The AAPS J. – 2019. – **21**, № 94. – P. 11.

6. *Latif M.T., Wanfi L., Hanif N.M. et al.* Composition and distribution of surfactants around Lake Chini, Malaysia // *Environ. Monit. Assess.* – 2012. – **184**, № 3. – P. 1325–1334.
7. *Hampel M., Mauffret A., Pazdro K. et al.* Anionic surfactant linear alkylbenzene sulfonates (LAS) in sediments from the Gulf of Gdańsk (southern Baltic Sea, Poland) and its environmental implications // *Environ. Monit. Assess.* – 2012. – **184**, № 10. – P. 6013–6023.
8. *Adak A., Pal A., Bandyopadhyay M.* Spectrophotometric determination of anionic surfactants in wastewater using acridine orange // *IJCT.* – 2005. – **12**, № 2. – P. 145–148.
9. *Sánchez J., del Valle M.* Determination of Anionic Surfactants Employing Potentiometric Sensors // *Critical Rev. Analyt. Chem.* – 2005. – **35**, № 1. – P. 15–29.
10. *Petrović M., Barceló D.* Determination of Anionic and Nonionic Surfactants, Their Degradation Products, and Endocrine-Disrupting Compounds in Sewage Sludge by Liquid Chromatography/Mass Spectrometry // *Anal. Chem.* – 2000. – **72**, № 19. – P. 4560–4567.
11. *Waldhoff H., Spilker R.* Handbook of detergents. Part C: Analysis. – CRC Press Book, 2004.
12. *Kubin R. F., Fletcher A. N.* Fluorescence quantum yields of some rhodamine dyes // *J. Luminescence.* – 1982. – **27**, № 4. – P. 455–462.
13. *Kolmakov K., Belov V.N., Bierwagen J. et al.* Red-Emitting Rhodamine Dyes for Fluorescence Microscopy and Nanoscopy // *Chem. Eur. J.* – 2010. – **16**, № 1. – P. 158–166.
14. *Ghasemi E., Kaykhaii M.* Application of Micro-cloud point extraction for spectrophotometric determination of Malachite green, Crystal violet and Rhodamine B in aqueous samples // *Spectrochim. Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* – 2016. – **164**. – P. 93–97.
15. *Hong M., Lu X., Chen Y. et al.* A novel rhodamine-based colorimetric and fluorescent sensor for Hg^{2+} in water matrix and living cell // *Sensors and Actuators B: Chemical.* – 2016. – **232**. – P. 28–36.
16. *Tan L., Mo S., Fang B. et al.* Dual fluorescence switching of a Rhodamine 6G-naphthalimide conjugate with high contrast in the solid state // *J. Mater. Chem. C.* – 2018. – **6**. – P. 10270–10275.
17. *Liu Y., Lee D., Wu D. et al.* A new kind of rhodamine-based fluorescence turn-on probe for monitoring ATP in mitochondria // *Sensors and Actuators B: Chemical.* – 2018. – **265**. – P. 429–434.
18. *Bao X., Cao X., Nie X. et al.* A new selective fluorescent chemical sensor for Fe^{3+} based on rhodamine B and a 1,4,7,10-tetraoxa-13-azacyclopentadecane conjugate and its imaging in living cells // *Sensors and Actuators B: Chemical.* – 2015. – **208**. – P. 54–66.
19. *Wang Y.-Y., Xiang X., Yan R. et al.* Förster Resonance Energy Transfer from Quantum Dots to Rhodamine B As Mediated by a Cationic Surfactant: A Thermodynamic Perspective // *J. Phys. Chem. C.* – 2018. – **122**, № 2. – P. 1148–1157.
20. *Dwivedi A.K., Singh R., Singh A. et al.* Novel Water-Soluble Cyclodextrin-Based Conjugated Polymer for Selective Host–Guest Interactions of Cationic Surfactant CTAB and Reverse FRET with Rhodamine B Tagged Adamantyl Guest //

Macromolecules. – 2016. – 49, № 15. – P. 5587–5598.

21. Lagutina L.S., Sholts K.F. Turbidimetric Method for Quantitative Determination of Triton X-100 with Silicotungstic Acid // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2002. – 38, №3. – P. 294–297.
22. Шевченко Г., Куліченко С. Вплив НПАР-стабілізованих емульсій на утворення та стійкість асоціатів бромфенолового синього з катіонами ПАР // Вісник Київ. ун-ту. Хімія. – 2010. – 48. – С.13–15.

REFERENCES

1. Demchenko A.P. *Introduction to Fluorescence Sensing*. (Springer Verlag, 2009).
2. Savvin S.B., Chernova R.K., Shtykov S.N. *Surface-active substances*. (M.: Science, 1991). [in Russian].
3. Bazel Ya.R., Antal I.P., Lavra V.M., Kormosh Zh.A. Methods for the determination of anionic surfactants. *Journal of Analytical Chemistry*. 2014. **69** (3): 211. [in Russian].
4. Robert Lange K. *Surfactants: A Practical Handbook*. (Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 1999).
5. Jin W., Al-Dulaymi M., Badea I., Leary S.C., Rehman J., El-Aneed A. Cellular Uptake and Distribution of Gemini Surfactant Nanoparticles Used as Gene Delivery Agents. *The AAPS Journal*. 2019. **21** (94): 11.
6. Latif M.T., Wanfi L., Hanif N.M., Roslan R.N., Ali M.M., Mushrifah I. Composition and distribution of surfactants around Lake Chini, Malaysia. *Environ. Monit. Assess.* 2012. **184** (3): 1325.
7. Hampel M., Mauffret A., Pazdro K., Blasco J. Anionic surfactant linear alkylbenzene sulfonates (LAS) in sediments from the Gulf of Gdańsk (southern Baltic Sea, Poland) and its environmental implications. *Environ. Monit. Assess.* 2012. **184** (10): 6013.
8. Adak A., Pal A., Bandyopadhyay M. Spectrophotometric determination of anionic surfactants in wastewater using acridine orange. *IJCT*. 2005. **12** (2): 145.
9. Sánchez J., del Valle M. Determination of Anionic Surfactants Employing Potentiometric Sensors. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2005. **35** (1): 15.
10. Petrović M., Barceló D. Determination of Anionic and Nonionic Surfactants, Their Degradation Products, and Endocrine-Disrupting Compounds in Sewage Sludge by Liquid Chromatography/Mass Spectrometry. *Anal. Chem.* 2000. **72** (19): 4560.
11. Waldhoff H., Spilker R. *Handbook of detergents. Part C: Analysis*. (CRC Press Book, 2004).
12. Kubin R. F., Fletcher A. N. Fluorescence quantum yields of some rhodamine dyes. *Journal of Luminescence*. 1982. **27** (4): 455.
13. Kolmakov K., Belov V.N., Bierwagen J., Ringemann C., Miller V., Eggeling C., Hell S.W. Red-Emitting Rhodamine Dyes for Fluorescence Microscopy and Nanoscopy. *Chem. Eur. J.* 2010. **16** (1): 158.
14. Ghasemi E., Kaykhani M. Application of Micro-cloud point extraction for spectrophotometric determination of Malachite green, Crystal violet and Rhodamine B in aqueous samples. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2016. **164**: 93.
15. Hong M., Lu X., Chen Y., Xu D. A novel rhodamine-based Hg²⁺ in water matrix and living cell. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2016. **232**: 28.

16. Tan L., Mo S., Fang B., Chenga W., Yin M. Dual fluorescence switching of a Rhodamine 6G-naphthalimide conjugate with high contrast in the solid state. *J. Mater. Chem. C*. 2018. **6**: 10270.
17. Liu Y., Lee D., Wu D., Swamy K.M.K., Yoon J. A new kind of rhodamine-based fluorescence turn-on probe for monitoring ATP in mitochondria. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2018. **265**: 429.
18. Bao X., Cao X., Nie X., Xu Y., Guo W., Zhou B., Zhang L., Liao H., Pang T. A new selective fluorescent chemical sensor for Fe³⁺ based on rhodamine B and a 1,4,7,10-tetraoxa-13-azacyclopentadecane conjugate and its imaging in living cells. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2015. **208**: 54.
19. Wang Y.-Y., Xiang X., Yan R., Liu Y., Jiang F.-L. Förster Resonance Energy Transfer from Quantum Dots to Rhodamine B As Mediated by a Cationic Surfactant: A Thermodynamic Perspective. *J. Phys. Chem. C*. 2018. **122** (2): 1148.
20. Dwivedi A.K., Singh R., Singh A., Wei K.-H., Wu C.-Y., Lyu P.-C., Lin H.-C. Novel Water-Soluble Cyclodextrin-Based Conjugated Polymer for Selective Host-Guest Interactions of Cationic Surfactant CTAB and Reverse FRET with Rhodamine B Tagged Adamantyl Guest. *Macromolecules*. 2016. **49** (15): 5587.
21. Lagutina L.S., Sholts K.F. Turbidimetric Method for Quantitative Determination of Triton X-100 with Silicotungstic Acid. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2002. **38** (3): 294.
22. Shevchenko G., Kulichenko S. The influence of emulsions stabilized by non-ionic surfactants onto the formation and stability of associates of bromophenol blue with cationic surfactants. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Chemistry*. 2010. **48**: 13. [in Ukrainian].

Надійшла

08.10.2019