

УДК 543.395. 56:547

МИЦЕЛЛЯРНО-ЭКСТРАКЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ И ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФЕНОЛОВ

© 2020 г. С. Ю. Доронин^{а, *}, Е. С. Жестовская^б, Э. И. Цыгулёва^а

^аСаратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Институт химии
ул. Астраханская, 18/3, Саратов, 410012 Россия

^бНаучный центр "Сигнал"
ул. Большая Оленья, 8, Москва, 107014 Россия

*e-mail: doroninsu@mail.ru

Поступила в редакцию 27.02.2019 г.

После доработки 04.07.2019 г.

Принята к публикации 06.12.2019 г.

Рассмотрено извлечение и концентрирование фенола и его гидроксипроизводных с применением индивидуальных и смешанных мицелл поверхностно-активных веществ неионного и катионного типов с цифровой регистрацией аналитического сигнала. Данный подход основан на цветной реакции фенолов с диазотированным 4-нитроанилином и мицеллярной экстракции продуктов их взаимодействия (азосоединения). Оптимизированы параметры мицеллярной экстракции (рН, концентрации реагентов, NaOH и этанола) для эффективного извлечения азосоединений исследованных фенолов. Предложенный способ позволяет определять фенол и резорцин на уровне ПДК с погрешностью, не превышающей 10%. Для качественной оценки присутствия фенолов наряду с цветометрическими (R, G, B) применены геометрические (площадь – S, периметр – P) параметры соответствующих лепестковых диаграмм. Градуировочные зависимости линейны в пределах 1×10^{-7} – 3×10^{-5} М для фенола; 1×10^{-7} – 2×10^{-5} М для резорцина и флороглюцина. Разработанный цветометрический способ апробирован для определения резорцина в лекарственном препарате "Резорцинол".

Ключевые слова: фенолы, поверхностно-активные вещества, мицеллярная экстракция в "точке помутнения", цветометрия.

DOI: 10.31857/S0044450220060079

Фенол и его производные обладают канцерогенными, тератогенными, кумулятивными свойствами (например, ПДК в воде фенола и резорцина составляют 0.001 мг/л [1]) и относятся к основным органическим загрязнителям водных объектов. В обзорах [2, 3] показано, что фенолы можно определять на уровне ПДК и ниже без предварительного концентрирования с применением хроматографических, люминесцентных и электрохимических методов анализа. Тем не менее, разработка простых в исполнении, экономичных, чувствительных и селективных методов, в том числе тест-методов, с предварительным концентрированием указанных аналитов является актуальной аналитической задачей. Применяют жидкостно–жидкостную, твердофазную, сверхкритическую флюидную, парофазную экстракцию, экстракционное вымораживание, а также сорбционные и мембранные способы концентрирования [2]. Эта стадия пробоподготовки часто приводит к увеличению стоимости анализа и связана, как правило, с применением токсичных и летучих органических растворителей. В последнее время альтернативой

органическим растворителям стали разбавленные водные растворы нелетучих малотоксичных поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые применяют как экстрагенты для концентрирования веществ по методологии на основе "точки помутнения" (cloud point, CP) [2–4]. Она основана на разделении гомогенных растворов ПАВ (их смесей) при нагревании, изменении рН, добавлении различных высаливателей на две изотропные фазы: одна из них, обогащенная ПАВ (surfactant-rich phase; micellar-rich phase), концентрирует вещества, до фазового разделения распределенные по всему объему раствора; другая фаза, обедненная ПАВ, или водная фаза (micellar-dilute phase, micelle-poor, surfactant depleted, aqueous phase) содержит ПАВ с концентрацией до критической концентрации мицеллообразования (ККМ) и остаточные количества экстрагируемого вещества. Обогащенная ПАВ фаза обычно является экстрагентом [4]. Эту методологию применяют для концентрирования аналитов как неорганической, так и органической природы с высокими значениями коэффициентов извлечения [4, 5].

Одним из важных факторов, влияющих на характер и количественные характеристики СР-экстракции, является выбор типа ПАВ. Так, в ряде работ фенолы определяют спектрофотометрически по собственному поглощению с использованием в качестве экстрагентов неионных ПАВ [6–8]. В этом случае применяют только такие ПАВ, которые не содержат в своей структуре ароматических фрагментов, мешающих определению фенолов в УФ-области спектра. Рекомендации по выбору ПАВ для извлечения фенола и близких к нему по растворимости веществ даны в работе [9]. Оценивалось влияние степени полимеризации в полиэтоксилатной группе (т.е. число полиэтоксилатных групп), числа алкильных групп и степень разветвления цепи.

Применение СР-экстракции для извлечения и концентрирования фенолов сочетается со спектрофотометрией, ВЭЖХ, капиллярным электрофорезом, мицеллярно-электрокинетической жидкостной хроматографией [3]. Наряду с указанными методами в последнее время все большее распространение получает цветометрия [10], в которой аналитическим сигналом является интенсивность параметров цветности электронного изображения, полученного с использованием цифровых устройств, таких как фотоаппарат, сканер и др., обработанного при помощи различных графических редакторов. Данный способ позволяет быстро, объективно и автоматизированно оценивать цветометрические характеристики исследуемых окрашенных твердых или жидких образцов [11–13].

Выше отмечено, что применение для СР-методологии ПАВ, содержащих в своей структуре ароматический фрагмент, затрудняет определение фенолов, имеющих максимумы поглощения в УФ-диапазоне. Решением данной проблемы может быть применение цветных реакций фенола и его замещенных с органическими реагентами, что позволяет сместить максимум поглощения в видимую часть спектра, устранив поглощение ПАВ. Данный подход лежит в основе цветометрического определения фенолов. Для этой цели применяют их взаимодействие с 4-аминоантипирином [14]. Эта реакция имеет ряд недостатков: использование большого количества реагентов (например, хлороформа — летучего токсичного растворителя); зависимость степени извлечения фенола от рН водного и водно-солевого раствора, а также от природы высаливателя. Данные о применении СР-методологии для предварительного концентрирования фенолов и последующего цветометрического их определения в виде азопроизводных — продуктов азосочетания с 4-динитрофенилдиазонием в литературе отсутствуют.

Цель настоящего исследования — разработка цветометрического способа определения фенола,

резорцина и флороглюцина в водных средах после предварительного их СР-концентрирования комбинированными системами на основе неионных и катионных ПАВ в виде дериватизатов с 4-динитрофенилдиазонием.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Аппаратура. Электронные спектры поглощения исследуемых растворов регистрировали на спектрофотометре Shimadzu UV-2550 с программным обеспечением UVProbe-2.34 в кюветках с толщиной поглощающего слоя $l = 1$ см. Электронные изображения получали фотоаппаратом Canon EOS 50 D (EFS 17–85 mm, ultrasonic) с последующей их обработкой в графическом редакторе Adobe Photoshop CS5. Для разделения фаз применяли высокоскоростную центрифугу с охлаждением HERMLE Z383K (Германия).

Реактивы. В работе применяли: фенол ($\geq 99\%$, Sigma, Германия); резорцин (99%, Sigma, Германия); флороглюцин (99%, Sigma, Германия); 4-нитроанилин (**4-НА**) ($\geq 99\%$, Sigma, Германия); нитрит натрия ч. (ХимМед); натрия гидроксид (99.99%, Sigma, Германия); карбонат натрия ($\geq 99\%$, Sigma, Германия); неионные ПАВ: ОП-10 (ХИМПЭК, Россия), Тритон X-114 (Sigma, Германия), Бридж-35 (Sigma, Германия), цетилтриметиламмония хлорид (**ЦТМАХ**, 25% в H_2O , Sigma, Германия); этанол “для хроматографии” (Chromasolv®, Merck, Германия); воду деионизированную с удельным сопротивлением 18.2 мОм/см, полученную с помощью установки NANO Pure (Thermo Scientific, США).

Исходные стандартные 0.01 М растворы фенолов готовили растворением точных навесок препаратов в воде. Диазотирующий агент (4-НА + $NaNO_2$) с концентрацией реагентов 0.001 М готовили в 1 М HCl.

Способы СР-концентрирования фенолов. Для определения следовых количеств фенолов применяли реакцию с диазотированным 4-нитроанилином в щелочной среде и Тритон X-114 в качестве экстрагента. Поскольку реакция образования азосоединений, полученных реакцией исследуемых фенолов с 4-нитрофенилдиазонием, протекает в щелочной среде, их предварительную СР-экстракцию осуществляли двумя способами. Для этого применяли два типа высаливателей: NaOH и Na_2CO_3 .

Способ 1: в пробирку помещали 100 мкл 4-НА, 100 мкл $NaNO_2$ и 500 мкл HCl. Затем добавляли порцию $3 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$ М раствора исследуемого фенола, 700 мкл этилового спирта, 1.75 мл 20%-ного раствора ПАВ и 1.4 мл 10 М раствора NaOH. Доводили объем до 5 мл водой и перемешивали. После разделения фаз отбирали 500 мкл мицеллярно-насыщенной фазы ПАВ, разбавляли ее 1 М

раствором NaOH или водой и фотометрировали. Аналогично готовили раствор сравнения, не содержащий фенолов.

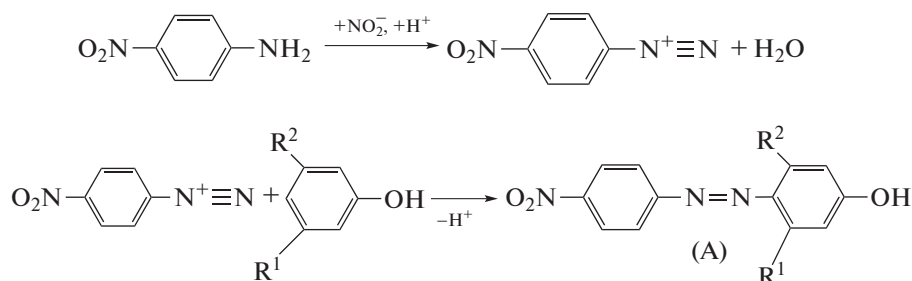
Способ 2: в пробирку помещали 100 мкл 4-НА, 100 мкл NaNO_2 и 500 мкл HCl. Затем добавляли порцию $3 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$ М раствора фенола, 1 мл 1.2 М раствора Na_2CO_3 , аликвоту 20%-ного раствора ПАВ. Доводили объем до 5 мл водой, перемешивали и в зависимости от применяемого ПАВ центрифугировали при 4500 об/мин в течение 10 мин (Тритон X-114) или нагревали на водяной бане (ОП-10, Бридж-35). В обоих вариантах водную фазу отделяли декантацией, а мицеллярную фазу разбавляли 50%-ным (по объему) этанолом.

Для цветометрического определения концентрации фенолов в водных средах получали цифровые изображения окрашенных обогатненных ПАВ фаз (они образуются через 20 мин после смешивания растворов по способам 1 и 2), полученных в специализированном снабженном лампами дневного света боксе, внутренняя поверхность которого обработана черной матовой краской. Для получения изображений применяли зеркальный

фотоаппарат Nikon D 5100 (параметры фотоаппарата: ISO – 160, выдержка – 1/250, приближение – 18 мм, F – 3.5; объектив AF-S Nikkor 18–55 мм; качество изображений – RAW). Цветометрические параметры определяли путем математической обработки цифровых изображений с использованием графического редактора Adobe Photoshop CS6. Для этого часть изображения предварительно усредняли до одного пикселя с помощью фильтра “Blur” (Average), и определяли значения координат цветовых параметров R, G, B, L и K.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дериватизация исследованных фенолов. Поскольку в качестве аналитов выбрали неокрашенные фенолы, реакцией диазотирования 4-нитроанилина (наиболее реакционноспособный ариламин, образующий устойчивую соль хлорид 4-нитрофенилдиазония) и последующего азосочетания их переводили в окрашенные аналитические формы соответствующих азосоединений (схема 1):



$\text{R}^1 = \text{R}^2 = \text{H}$ (фенол); $\text{R}^1 = \text{OH}$, $\text{R}^2 = \text{H}$ (резорцин); $\text{R}^1 = \text{R}^2 = \text{OH}$ (флороглюцин)

Схема 1. Реакции диазотирования 4-нитроанилина и азосочетания 4-нитрофенилдиазония с исследуемыми фенолами.

СР-концентрирование азосоединений фенолов мицеллярными фазами неионных ПАВ. Образующиеся азосоединения экстрагировали в мицеллярно-насыщенные фазы различных неионных (ОП-10, Тритон X-114, Бридж-35) ПАВ. Для оптимизации условий СР-экстракции фенолов варьировали pH, концентрации реагентов, NaOH

и этанола. Следует отметить, что кислотность среды, создаваемая добавлением различных концентраций растворов NaOH или Na_2CO_3 , влияет не только на возможность проведения мицеллярной экстракции фазы ПАВ, но и на получение соответствующей окрашенной аналитической формы (схема 2):

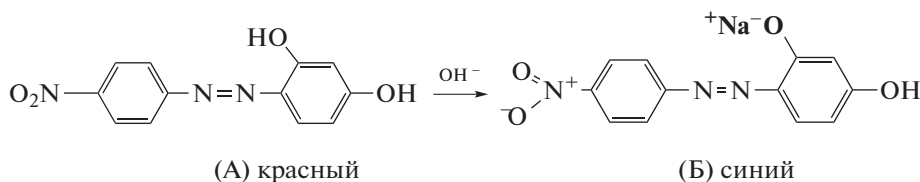


Схема 2. Образование анионной формы азосоединения в щелочной среде.

Так, например, изучено состояние продукта азосочетания диазотированного 4-НА с резорци-

ном (Магнезон I, форма А) в водно-мицеллярных средах при различных pH. Как видно из рис. 1,

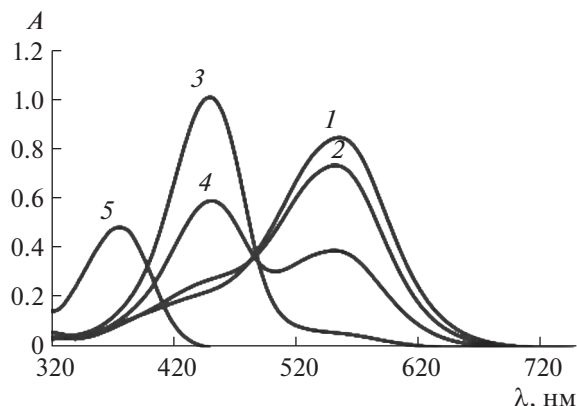


Рис. 1. Спектры поглощения Магнезона I (1–4) и 4-НА (5) при различных pH: $c_{\text{магнезона I}} = 2 \times 10^{-5}$ М, раствор сравнения – дистиллированная вода, $l = 1$ см, 1 – 0.1 М HCl, 2 – 0.01 М HCl, 3 – 2.8 М NaOH, 4 – 1 М NaOH, 5 – 2×10^{-5} М 4-НА.

спектр Магнезона I в водной среде характеризуется максимумом средней интенсивности при 450 нм (форма А), в спектре 4-НА регистрируется максимум поглощения при 380 нм. В кислой среде наблюдается гипсохромный сдвиг максимума поглощения полосы 450 нм, что связано с образованием его протонированной формы. В щелочной среде спектр Магнезона I представлен двумя максимумами поглощения при 450 и 555 нм, что обусловлено переходом формы А в форму Б. При увеличении концентрации NaOH форма Б преобладает в растворе (рис. 1). Для продукта азосочетания и диазотирования 4-НА с фенолом и флороглюцином аналогичных эффектов в спектрах поглощения не наблюдали.

Спектрофотометрически изучено влияние концентрации 4-НА на образование формы Б в диапазоне концентраций 3×10^{-6} – 2×10^{-4} М (рис. 2а). Установлено, что оптическая плотность увеличивается до концентрации 4-НА 2×10^{-5} М, поэтому дальнейшие исследования проводили при этой его концентрации.

Ранее нами на примере систем неионное ПАВ–электролит (неэлектролит) показано [15], что наибольшее влияние на процесс фазового разделения растворов неионных ПАВ при $20 \pm 5^\circ\text{C}$ оказывают концентрации щелочи (NaOH) и органических растворителей (этанол). Для системы НПав–NaOH– $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ фазовое разделение достигалось при концентрации NaOH 2.2–3 М и этанола 2–30 об. %. В связи с этим фазовое разделение в системе фенол–неионное ПАВ–NaOH– $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ исследовали при оптимальных концентрациях щелочи и этанола 2.8 М и 15 об. % соответственно. Кроме того, поскольку реакция с фенолом протекает в слабощелочной среде, наряду с NaOH применяли водный раствор Na_2CO_3 . В

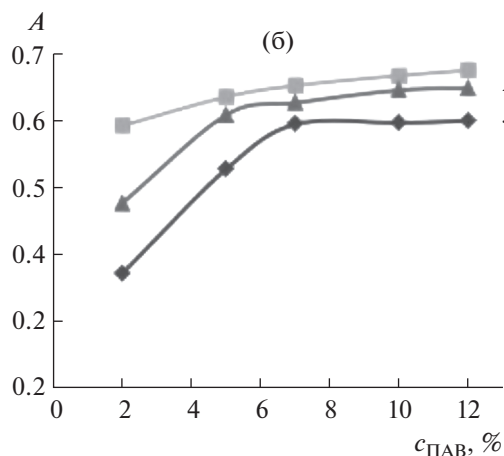
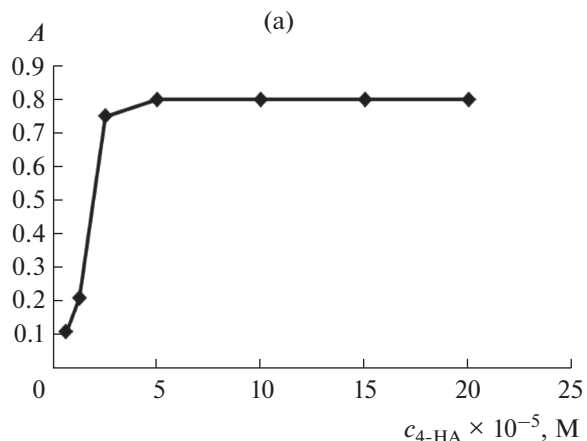


Рис. 2. Зависимость оптической плотности системы: резорцин–4-НА– NO_2 –ОП-10 от концентрации 4-НА: $c_{\text{резорцина}} = 2 \times 10^{-5}$ М, $c_{\text{NaOH}} = 2.8$ М, $c_{\text{ОП-10}} = 7\%$ (а); влияние концентрации Тритона X-114 (1), Бридж-35 (2) и ОП-10 (3) различных ПАВ на степень извлечения резорцина: $c_{\text{резорцина}} = 2 \times 10^{-5}$ М, $c_{\text{NaOH}} = 2.8$ М (б).

этом случае для достижения фазового разделения системы необходимо либо дополнительное центрифугирование (Тритон X-114, Бридж-35), либо нагревание (ОП-10, Тритон X-114, Бридж-35).

Степень извлечения аналитов рассматривали на примере трех неионных ПАВ в диапазоне их концентраций 2–12% (рис. 2б). Тритон X-114 и его технический аналог ОП-10 являются представителями оксиэтилированных производных алкилфенолов с общей формулой $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}_6\text{H}_4\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_m\text{H}$, Бридж-35 – полиоксиэтилированный лауриловый эфир ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_{23}\text{OH}$). Как видно из рис. 2б, для всех исследованных НПав при их концентрациях $\geq 7\%$ степень извлечения резорцина практически одинакова. Наилучший эффект достигается при использовании Тритона X-114, содержащего в своей структуре разветвленный алкильный радикал, для которого степень извлечения резорцина мало зависит от концентрации в

Таблица 1. Некоторые характеристики исследуемых растворов неионных ПАВ

ПАВ	Содержание основного вещества, %	ККМ, мМ	Высаливатель			
			Na ₂ CO ₃		NaOH	
			$t_{\text{пом}}^*$, °C	локализация мицеллярной фазы	$t_{\text{пом}}^*$, °C	локализация мицеллярной фазы
ОП-10	80	0.23	80–90	Внизу	20–25	Вверху
Тритон X-114	98	0.20	70–80		20–25	
Бридж-35	98	0.075	>100		20–25	

* $t_{\text{пом}}$ – температура помутнения.

Таблица 2. Степени извлечения (%) исследованных фенолов в системе диазотированный 4-НА–фенольный анализ–ПАВ ($n = 3$, $P = 0.95$)

ПАВ	Фенол		Резорцин		Флороглюцин	
	способ 1	способ 2	способ 1	способ 2	способ 1	способ 2
ОП-10	–	90 ± 3	89 ± 3	90 ± 3	83 ± 3	75 ± 3
ОП-10 + ЦТМАХ	–	85 ± 2	74 ± 1	84 ± 2	75 ± 1	68 ± 1
Тритон X-114	–	93 ± 2	90 ± 2	90 ± 2	84 ± 2	76 ± 2
Тритон X-114 + ЦТМАХ	–	89 ± 1	74 ± 1	84 ± 1	79 ± 1	69 ± 1
Бридж-35	–	91 ± 2	89 ± 2	90 ± 2	84 ± 2	76 ± 2
Бридж-35 + ЦТМАХ	–	88 ± 1	75 ± 1	85 ± 1	79 ± 1	70 ± 1

интервале от 3 до 12 мас. %. Некоторые характеристики растворов исследуемых ПАВ представлены в табл. 1.

Установлено, что степень извлечения аналитических форм фенолов также зависит от их природы. Так, например, 2%-ного раствора Тритона X-114 вполне достаточно для практически полного извлечения 2×10^{-5} М продукта взаимодействия фенола с 4-НА, в то время как азоформа А той же концентрации частично остается в водной фазе. Увеличение числа ОН-групп в исследуемом фенольном анализе приводит к снижению его степени извлечения в мицеллярную фазу неионного ПАВ.

Исследовано влияние катионного (ЦТМАХ) ПАВ на изменение оптической плотности системы резорцин–4-НА–NO₂[–]–ОП-10–ЦТМАХ. Установлено, что присутствие ЦТМАХ усиливает аналитический сигнал. При $20 \pm 5^\circ\text{C}$ наибольший эффект достигается добавлением 4×10^{-4} – 1×10^{-5} М ЦТМАХ в систему; концентрация 7×10^{-4} М выбрана в качестве оптимальной (табл. 2). Как видно из табл. 2, степень извлечения каждого исследуемого фенола максимальна при экстракции в мицеллярные фазы Тритона X-114. Присут-

ствие в системе ЦТМАХ, с одной стороны, снижает степень извлечения аналитов, а с другой, позволяет стабилизировать ее во времени, улучшая при этом сходимость результатов (постоянство оптической плотности) определения фенолов.

Цветометрическое определение фенолов. Цифровая технология [16–18] регистрации интенсивности электронных изображений реализована нами для цветометрического определения фенола, резорцина и флороглюцина в модельных растворах после проведения реакции дериватизации аналитов с диазотированным 4-НА и последующим концентрированием азосоединений в мицеллярные фазы неионных ПАВ. Применения трех цветометрических параметров не всегда достаточно для разработки селективного метода определения соответствующего фенола. Для усовершенствования этого подхода применяют многокомпонентные системы для построения лепестковых диаграмм (ЛД) с различным количеством осей как индивидуальных отпечатков соответствующего аналита. Нами построены лепестковые диаграммы с применением пяти выбранных цветометрических параметров: R – красный, G – зеленый, B – синий, L – светлота, K – черный (рис. 3). Как видно из рис. 3, каждый

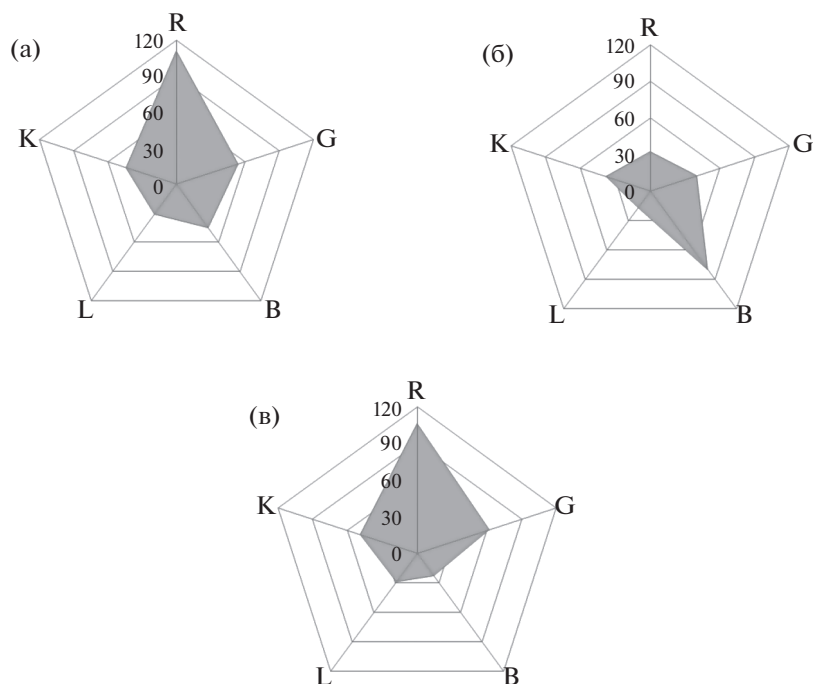


Рис. 3. Лепестковые диаграммы исследованных фенолов (6×10^{-6} М): (а) – фенол, (б) – резорцин, (в) – флороглюцин.

фенол имеет свой индивидуальный профиль, который характеризуется соответствующей формой ЛД. Следует отметить, что при низких концентрациях (1×10^{-7} – 8×10^{-7} М) такие профили для фенола, резорцина и флороглюцина становятся малоразличимыми, что не позволяет достоверно их идентификацию.

Для количественной оценки содержания фенолов применяли как цветометрические (оптимальный параметр цветности – G-канал), так и геометрические параметры полученных ЛД: площадь (S) и периметр (P). Градуировочные зависимости линейны в пределах 1×10^{-7} – 3×10^{-5} М для фенола; 1×10^{-7} – 2×10^{-5} М для резорцина и флороглюцина. Корреляционные уравнения в координатах интенсивность G-канала (I_G)–р(с(фенола)) и площадь ЛД (S)–р(с(фенола)), а также величины достоверностей аппроксимации для указанных анализов составили соответственно: $I_G = 52.6pc - 216$ ($R^2 = 0.982$), $S = 8180pc - 34000$ ($R^2 = 0.977$); $I_G = 54.3pc - 235$ ($R^2 = 0.985$), $S = 9380pc - 43360$ ($R^2 = 0.985$); $I_G = 38.4pc - 141$ ($R^2 = 0.970$), $S = 6130pc - 24650$ ($R^2 = 0.973$).

Правильность результатов определения фенолов с предварительным СР-концентрированием оценивали методом введено–найдено по параметру G (табл. 3). Предложенный способ позволяет определять содержание фенолов в диапазоне

1×10^{-7} – 1×10^{-4} М, при этом погрешность цветометрического определения не превышает 10–12%.

Разработанный цветометрический способ определения фенолов апробирован для определения резорцина в лекарственном препарате Резорцинол. Препарат предварительно разбавляли этанолом в 1000 раз и определяли концентрацию резорцина по уравнению $I_G = 54.3pc - 235$. Полученный результат $(1.5 \pm 0.2) \times 10^{-2}$ М не содержит систематической погрешности и хорошо согласуется с концентрацией резорцина, заявленной производителем – 1.5×10^{-2} М.

* * *

Таким образом, методология СР-концентрирования дериватизатов фенола и его аналогов с использованием простых и комбинированных систем на основе неионных и катионных ПАВ показала, что возможно их раздельное цветометрическое определение с пониженными пределами обнаружения на уровне концентраций 10^{-7} – 10^{-5} М. Такой подход не только позволяет определять исследуемые соединения на уровне ПДК и ниже (ПДК в воде фенола составляет 1.1×10^{-6} М, резорцина – 0.9×10^{-6} М), но и контролировать их содержание в фармацевтических препаратах. Предложенный способ экспрессен, экономически и экологически обоснован, однако вопрос

Таблица 3. Результаты цветометрического определения фенолов в модельных растворах (№№ 1–3) и в препарате “Резорцинол” (№ 4) методом введено–найдено ($n = 3$, $P = 0.95$)

№	Аналит	Введено, М	Найдено, ($X_{cp} \pm \Delta X$), М	s_T
1	Фенол	6.0×10^{-7}	$(6.0 \pm 0.23) \times 10^{-7}$	0.07
		1.5×10^{-6}	$(1.3 \pm 0.27) \times 10^{-6}$	0.08
		1.5×10^{-5}	$(1.5 \pm 0.13) \times 10^{-5}$	0.04
2	Резорцин	6.0×10^{-7}	$(5.7 \pm 0.17) \times 10^{-7}$	0.05
		1.5×10^{-6}	$(1.5 \pm 0.33) \times 10^{-6}$	0.10
		1.5×10^{-5}	$(1.4 \pm 0.20) \times 10^{-5}$	0.06
3	Флороглюцин	6.0×10^{-7}	$(5.5 \pm 0.17) \times 10^{-7}$	0.05
		1.5×10^{-6}	$(1.3 \pm 0.27) \times 10^{-6}$	0.08
		1.5×10^{-5}	$(1.3 \pm 0.23) \times 10^{-5}$	0.07
4	Резорцин*	1.0×10^{-3}	$(1.4 \pm 0.07) \times 10^{-2}$	0.02
		2.0×10^{-3}	$(1.6 \pm 0.20) \times 10^{-2}$	0.06
		4.0×10^{-3}	$(1.9 \pm 0.17) \times 10^{-2}$	0.05

* Содержание резорцина в препарате “Резорцинол”, указанное производителем, составляет 1.5×10^{-2} М.

повышения селективности цветометрического определения с предварительным СР-концентрированием близких по свойствам фенолов остается актуальным для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М., 2002. 62 с.
2. Жестовская Е.С., Доронин С.Ю. Мицеллярная экстракция в “точке помутнения” – как способ концентрирования фенолов // Бутлеровские сообщения. 2016. Т. 45. № 2. С. 66.
3. Ferrera Z.S., Sanz C.P., Santana C.M., Rodriguez J.J.S. The use of micellar systems in the extraction and pre-concentration of organic pollutants in environmental samples // Trends Anal. Chem. 2004. V. 23. P. 469.
4. Чернова Р.К., Доронин С.Ю. Определение органических аналитов в растворах ПАВ: ионные и мицеллярные эффекты. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2017. 200 с.
5. Carabias R.M., Rodriguez G.E., Moreno C.B. Surfactant cloud point extraction and preconcentration of organic compounds prior to chromatography and capillary electrophoresis // J. Chromatog. A. 2000. V. 902. P. 251.
6. Ghasemi EI, Kaykhaili M. Developing a new micro cloud point extraction method for simultaneous preconcentration and spectrophotometric determination of uranium and vanadium in brine // Anal. Sci. 2015. V. 31. № 5. P. 407.
7. Zain N.N.M., Abu Bakar N.K., Mohamad S., Saleh N.Md. Optimization of a greener method for removal phenol species by cloud point extraction and spectrophotometry // Spectrochim. Acta A. 2014. V. 118. P. 1121.
8. Wang Z., Zhao F., Li D. Determination of solubilization of phenol at coacervate phase of cloud point extraction. Colloids and surfaces // Physicochem. Eng. Aspects. 2003. V. 216. P. 207.
9. Taechangama P., Scamehorn J.F., Osuwana S., Rirk-somboona T. Effect of nonionic surfactant molecular structure on cloud point extraction of phenol from wastewater // Physicochem. Eng. Aspects. 2009. V. 347. P. 200.
10. Иванов В.М., Моногарова О.В., Осолок К.В. Возможности и перспективы развития цветометрического метода в аналитической химии // Журн. аналит. химии. 2015. Т. 70. № 10. С. 1011.
11. Байдичева О.В., Рудакова Л.В., Рудаков О.Б. Применение цифровых технологий в цветных тестах биологически активных веществ // Бутлеровские сообщения. 2008. Т. 13. № 2. С. 50.
12. Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Грошев Е.Н., Чан Хай Данг, Селиванова Е.Б. Цифровой цветометрический контроль качества строительных материалов // Научный Вестник ВГАСУ. 2013. Т. 7. № 2. С. 104.
13. Апари В.В., Горбунов М.В., Исаченко А.И., Дмитриенко С.Г., Золотов Ю.А. Использование бытовых цветорегистрирующих устройств в количественном химическом анализе // Журн. аналит. химии. 2017. Т. 72. № 11. С. 1165.

14. Чурилина Е.В., Суханов П.Т., Коренман Я.И., Ильин А.Н. Двухфазные системы на основе поли-*n*-винилкапролактама для экстракционного концентрирования фенолов из водных растворов // Вестник ВГУИТ. 2012. № 1. С. 112.
15. Доронин С.Ю., Чернова Р.К., Бурмистрова А.А. Экстракционное концентрирование органических аналитических форм системами на основе ПАВ // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 52. № 6. С. 94.
16. Zarei A.R., Gholamian F., Chalavi S. Micelle-mediated extraction and cloud point pre-concentration for the spectrophotometric determination of phenol in water samples // South Afr. J. Chem. 2011. V. 64. P. 158.
17. Зяблов А.М., Жиброва Ю.А., Селеменев В.Ф. Усовершенствование экстракционно-инструментальных методик определения парацетамола с применением ВЭЖХ, ТСХ, фотоколориметрии и цифровой цветометрии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2006. Т. 6. № 6. С. 1424.
18. Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Чан Хай Данг / Матер. IV Всерос. симп. "Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии". Краснодар, 24 сентября–04 октября 2014 г. С. 108.