

УДК 543.555.4 + 543.554.4 + 543.422.3-76

DOI: 10.17072/2223-1838-2021-1-17-29

С.А. Заболотных¹, С.А. Денисова²¹«Институт технической химии УрО РАН», Пермь, Россия²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛКИЛБЕНЗОЛСУЛЬФОКИСЛОТЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ**

Рассмотрена возможность определения анионогенного ПАВ алкилбензолсульфокислоты различными методами: потенциометрическим и кондуктометрическим титрованием с гидроксидом натрия, кондуктометрическим титрованием с катионогенными ПАВ (тетрабутиламмоний бромидом, цетилтриметиламмоний бромидом) и спектрофотометрически в УФ-области. Метод кислотно-основного титрования позволяет определять концентрацию алкилбензолсульфокислоты в чистых водных растворах. Кондуктометрическим титрованием с цетилтриметиламмоний бромидом можно устанавливать содержание АПАВ в присутствии азотной кислоты. Установлены оптимальные условия для спектрофотометрического определения алкилбензолсульфокислоты (максимум светопоглощения, интервалы линейности градуировочного графика, молярный коэффициент экстинкции).

Ключевые слова: алкилбензолсульфокислота; потенциометрическое титрование; кондуктометрическое титрование; УФ-спектроскопия

Поступила в редакцию 20.01.2021; после доработки 02.02.2021; принята к публикации 02.02.2021

S.A. Zabolotnykh¹, S.A. Denisova²¹“Institute of Technical Chemistry Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”, Perm, Russia²Perm State National Research University, Perm, Russia**DETERMINATION OF ALKYL BENZOLSULPHOIC ACID IN AQUEOUS SOLUTIONS**

The possibility of determining the anionic surfactant alkylbenzenesulfonic acid by various methods: potentiometric and conductometric titration with sodium hydroxide, conductometric titration with cationic surfactants (tetrabutylammonium bromide, cetyltrimethylammonium bromide) and spectrophotometry in the UV region, was considered. The acid-base titration method allows to determine the alkylbenzenesulfonic acid concentration in pure aqueous solutions. The content of anionic surfactant in the presence of nitric acid can be determined by conductometric titration with cetyltrimethylammonium bromide. The optimal conditions for alkylbenzenesulfonic acid spectrophotometric determination (light absorption maxima, linearity range of the calibration graph, molar absorption coefficient) have been established.

Keywords: alkylbenzenesulfonic acid, potentiometric titration, conductometric titration, UV spectroscopy

Received 20.01.2021; revised 02.02.2021; accepted 02.02.2021

© Заболотных С.А., Денисова С.А., 2021



Данная статья распространяется на условиях лицензии
Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) применяются в промышленном производстве, сельском хозяйстве, повседневной жизни (моющие средства, пятновыводители, косметика и др.) [1], широко используются в научных исследованиях в различных областях химии [2, 3]. К числу АПАВ относят соли высших алифатических карбоновых кислот, алкилсульфаты, алкилсульфонаты, алкилбензолсульфонаты [4]. Анионом в молекулах таких ПАВ обычно являются алифатические углеводородные радикалы C_{10} – C_{18} , а также бензольные или нафталиновые ядра, связанные с карбоксильными, сульфоновыми или другими полярными группами. Среди АПАВ наибольшее распространение приобрели додецилсульфат и додецилбензолсульфонат, входящие в состав большинства современных моющих средств и других продуктов. Сложность анализа синтетических АПАВ заключается в том, что они, как правило, не являются индивидуальными соединениями. Количественное определение АПАВ предполагает нахождение их молекулярно-массового распределения по гидрофобному радикалу [5]. В связи с разнообразием АПАВ в объектах окружающей среды приходится определять общее содержание таких соединений, используя перерасчет через базовое вещество, как правило, додецилсульфат натрия. В соответствующих стандартах большинства стран АПАВ рекомендуется определять экстракционно-спектрофотометрически с метиленовым синим [6–9]. Наиболее распространенными методами определения АПАВ являются спектрофотометрические и потенциометрические (с применением ионселективных электродов [10, 11]), в том числе в точно-инжекционных вариантах анализа. Для

разделения, концентрирования и определения различных АПАВ в сложных смесях наиболее часто используют хроматографию (прежде всего ВЭЖХ), а в некоторых случаях тест-методы определения [12].

Алкилбензолсульфокислота (АБСК) является сырьем для производства алкилбензолсульфонатов – компонентов моющих средств [13], а также расслаивающихся систем, используемых для экстракции ионов металлов [14, 15]. В то же время, сама АБСК крайне редко применяется как в обогатительной [16], так и в ионной флотации [17, 18], хотя обладает многими достоинствами: является жидкостью, хорошо смешивается с водой, образует устойчивую пену, образует осадки с ионами металлов, а также является достаточно доступным реагентом.

АБСК образует с ионами лантана (III) белый аморфный осадок, нерастворимый в воде, хорошо растворимый в этиловом спирте. Методика определения ионов La (III) в растворе после осаждения с АБСК предложена в работе [19]. Для получения полной картины процесса осаждения (состава осадка, кажущегося произведения растворимости) необходимо знать содержание АБСК или ее аниона в фильтрате и осадке.

Нахождение простого, удобного и быстрого способа определения АБСК или ее аниона в водных растворах позволит оценить их остаточное содержание в растворе после осаждения или ионной флотации. В связи с этим, целью данной работы являлось установление возможности определения концентрации АБСК или алкилбензолсульфонат-иона тремя методами: титрованием раствором гидроксидом натрия с потенциометрическим или кон-

дуктометрическим детектированием, кондуктометрическим титрованием с КПАВ и спектрофотометрией в УФ-области.

Экспериментальная часть

Растворы и реагенты. В работе использовали анионногенное ПАВ алкилбензолсульфокислоту (ТУ 2481-026-05766480-2006, общая формула $C_nH_{2n+1}C_6H_4SO_3H$, где $n = 10-14$, содержание основного вещества 96%); бромид тетрабутиламмония (ТБАБ), ч. (Реахим); бромид цетилтриметиламмония (ЦТАБ), х.ч. (Alfa Aesar); азотную кислоту, концентрированную ($\rho = 1,387$ г/мл, Вектон), х.ч.; гексагидрат нитрата лантана, х.ч. (Реахим); спирт этиловый 95%; дистиллированную воду.

Растворы АБСК, La (III), ТБАБ, ЦТАБ и HNO_3 с концентрацией 0,1 моль/л готовили растворением точной навески реактива в дистиллированной воде. Раствор 0,1 моль/л NaOH готовили из фиксаля. Растворы с меньшей концентрацией получали соответствующим разбавлением.

Получение осадка лантана (III) с АБСК. В мерную колбу на 25 мл вносили 2,5 мл 0,1 моль/л раствора La(III), 7,5 мл 0,1 моль/л раствора АБСК, доводили до метки водой, перемешивали и выдерживали в течение 3 мин. Смесь фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента», $pH_{равн}$ составило 1,29. Фильтрат количественно переносили в мерную колбу на 50 мл, доводили до метки водой и использовали в дальнейшем анализе (F1). Отделенный осадок переносили в мерную колбу на 25 мл, растворяли в этиловом спирте (S1) и анализировали.

Аппаратура. Потенциометрическое титрование проводили с помощью лабораторного иономера И-160М со стеклянным электродом

ЭСЛ-43-07 (индикаторный) и вспомогательным электродом ЭВЛ-1М3.1 (сравнения). В химический стакан на 50 мл вносили аликвоту раствора АБСК, добавляли дистиллированную воду и титровали раствором NaOH при постоянном перемешивании.

Кондуктометрическое титрование проводили с помощью лабораторного анализатора жидкости АНИОН 4100. В химический стакан на 200 мл вносили аликвоту раствора АБСК, разбавляли дистиллированной водой и титровали раствором NaOH при постоянном перемешивании. При титровании катионогенными ПАВ раствор АБСК предварительно нейтрализовали 0,1 моль/л раствором NaOH или KOH.

При совместном определении АБСК и HNO_3 в химический стакан вносили 1 мл 0,1 моль/л раствора азотной кислоты и 10 мл 0,01 моль/л АБСК, разбавляли дистиллированной водой и титровали раствором 0,1 моль/л NaOH при постоянном перемешивании. При кондуктометрическом титровании в присутствии органических растворителей в стаканы предварительно вносили их рассчитанные количества.

Спектрофотометрические исследования проводили на спектрофотометре СФ-2000 в кварцевых кюветах толщиной поглощающего слоя 1 см. В мерную колбу на 25 мл вносили рассчитанные количества 10^{-3} моль/л раствора АБСК, доводили до метки водой, перемешивали и снимали спектры на фоне воды. Раствор фильтрата после осаждения (F1) перед снятием спектра разбавляли в 10 раз. Для снятия спектра водно-спиртового раствора осадка после смешения растворов La (III) и АБСК полученный раствор S1 разбавляли EtOH в 10 раз (S10), брали аликвоту 1 мл в колбу на 25 мл,

вносили 2,5 мл этилового спирта, и доводили до метки водой. Для изучения влияния добавок этилового спирта и концентрации ионов лантана в мерные колбы помимо раствора АБСК вносили рассчитанные количества EtOH или 10^{-4} моль/л раствора La (III).

Для построения градуировочного графика в мерные колбы на 25 мл вносили 0,5–2,0 мл 10^{-3} моль/л оттитрованного раствора АБСК, 2,5 мл этилового спирта, доводили до метки водой, перемешивали и определяли оптическую плотность при 224 нм на фоне холостого раствора (2,5 мл EtOH на 25 мл). Для определения содержания алкилбензолсульфонат-иона в осадке лантана с АБСК в мерную колбу на 25 мл вносили аликвоту 0,5 мл раствора S10, 2,0 мл этилового спирта, доводили до метки дистиллированной водой, перемешивали и определяли оптическую плотность при 224 нм на фоне холостого раствора.

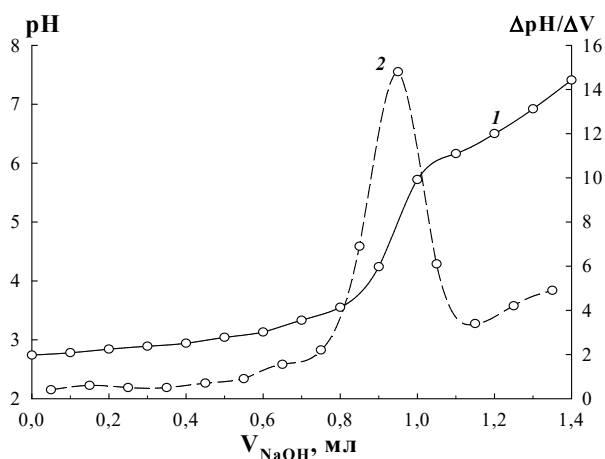


Рис. 1. Потенциометрическое титрование 10 мл 0,01 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором NaOH.

1 – интегральная кривая,
2 – дифференциальная кривая

Результаты и их обсуждение

Кислотно-основное титрование алкилбензолсульфокислоты

В водных растворах без посторонних веществ алкилбензолсульфокислоту можно определять кислотно-основным титрованием с NaOH с потенциометрическим или кондуктометрическим детектированием [20]. На интегральных кривых потенциометрического титрования наблюдается скачок в изменении pH (рис. 1). При уменьшении концентрации АБСК скачок сглаживается, для более точного определения точки эквивалентности строят дифференциальную кривую.

При кондуктометрическом титровании точку эквивалентности определяют по изменению электропроводности раствора от количества добавленного титранта. При высоких концентрациях АБСК точка излома видна достаточно четко (рис. 2). При низких концентрациях строят касательные, и по их пересечению находят точку эквивалентности.

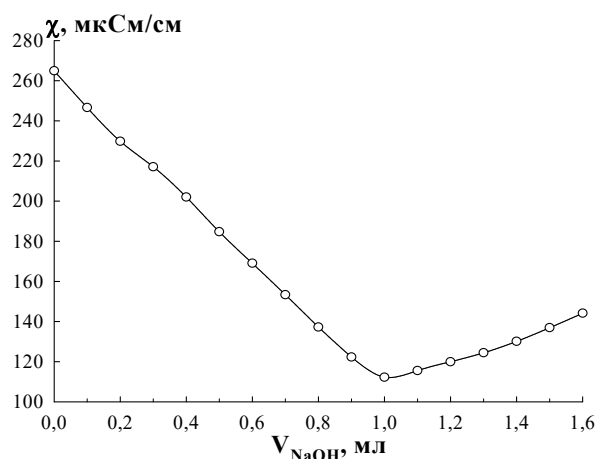


Рис. 2. Кондуктометрическое титрование 10 мл 0,01 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором NaOH

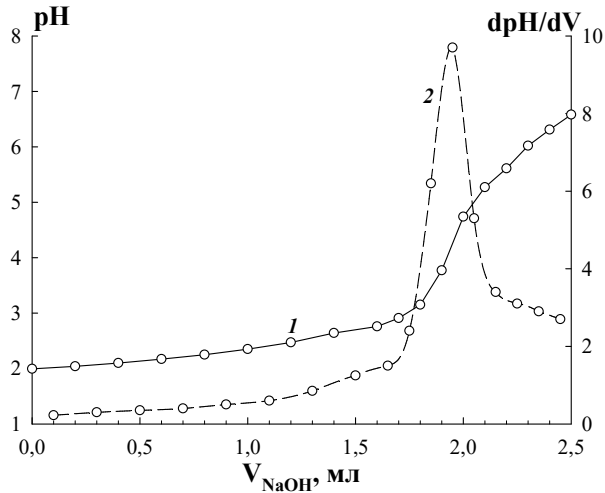


Рис. 3. Потенциметрическое титрование смеси 1 мл 0,1 моль/л HNO_3 и 10 мл 0,01 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором NaOH : 1 – интегральная кривая, 2 – дифференциальная кривая

Однако у данных методик обнаружены существенные недостатки. Во-первых, невозможность определения АБСК в присутствии неорганических кислот (рис. 3). При анализе смеси азотной кислоты и АБСК на кривых титрования установлено наличие лишь одного перегиба, соответствующего суммарному их содержанию. Введение органических растворителей уменьшает электропроводность растворов (рис. 4), но последовательное определение кислот невозможно.

Во-вторых, методики позволяют определять содержание ионов H^+ (по которым косвенно можно определить содержание АБСК), а не алкилбензолсульфонат-ионов. В результате можно сделать следующие выводы:

1. Необходимо подобрать методики, позволяющие определять непосредственно алкилбензолсульфонат-ион.
2. Предложенными методами можно определять АБСК в водных растворах в отсутствие посторонних веществ.

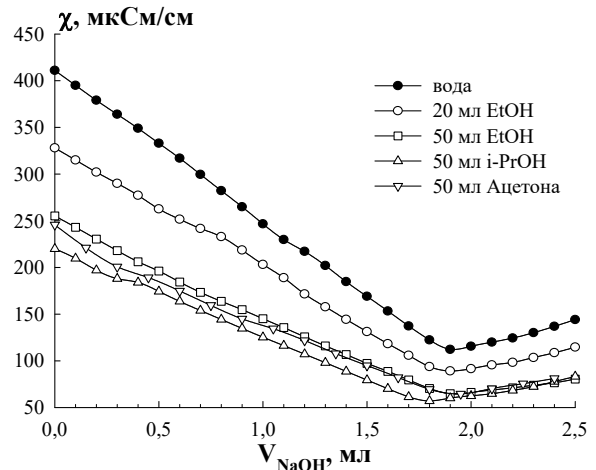


Рис. 4. Кондуктометрическое титрование смеси 1 мл 0,1 моль/л HNO_3 и 10 мл 0,01 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором NaOH в присутствии органических растворителей

В дальнейшем эти методы применяли для определения титра растворов АБСК перед спектрофотометрическими исследованиями.

Кондуктометрическое титрование катиногенными ПАВ

В работе [21] и в работах других авторов определение додецилсульфат-иона проводили потенциметрическим титрованием хлоридом цетилтриметиламмония с ионселективным электродом. В присутствии катиногенного ПАВ возможно образование малоподвижного (и даже малорастворимого) ионного ассоциата АПАВ и КПАВ, что приводит к изменению электропроводности раствора. Для определения АБСК-аниона в качестве титрантов рассмотрены бромид тетрабутиламмония и бромид цетилтриметиламмония.

На кривых кондуктометрического титрования АБСК раствором ТБАВ точки излома не наблюдается, электропроводность монотонно увеличивается при добавлении титранта. Предварительная нейтрализация раствора 0,1 М NaOH также не оказала существенного влияния на вид кривой титрования (рис. 5).

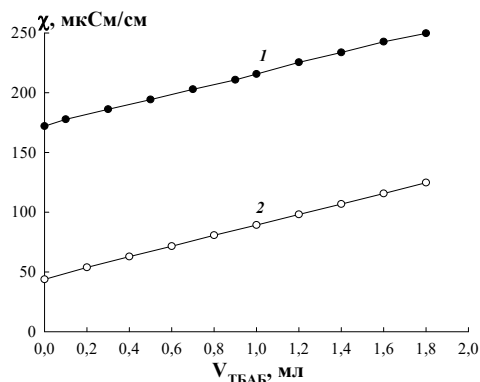


Рис. 5. Кондуктометрическое титрование 1 мл 0,1 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором ТБАБ: 1 – без нейтрализации, 2 – нейтрализация раствором 0,1 моль/л NaOH

При замене ТБАБ на ЦТАБ картина меняется. Без предварительной нейтрализации раствора определение АБСК-аниона затруднено (рис. 6, а). После предварительной нейтрализации анализируемого раствора на кривой титрования наблюдается точка излома, что свидетельствует о возможности определения АБСК (рис. 6, б). Также установлена возможность титрования АБСК в присутствии азотной кислоты, если сначала нейтрализовать анализируемый раствор щелочью (рис. 6в). К сожалению, метод также обладает существенным недостатком: очень узким интервалом определяемых концентраций АБСК. Данным методом возможно установить содержание АБСК в пробе от $1,2 \cdot 10^{-3}$ до $2,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Как при больших, так и при меньших концентрациях ПАВ изменение удельной электропроводности относительно общей электропроводности раствора очень мало и установление точки эквивалентности затруднено. Помимо этого, присутствие больших количеств сильных электролитов в растворе усложняет определение. Проблемой метода также является недостаточно высокая точность и чувствительность.

Данная методика имеет определенный потенциал для применения в анализе анионогенных ПАВ, однако требует доработки и поиска более эффективного титранта (катионогенного ПАВ).

Спектрофотометрическое определение алкилбензолсульфокислоты

Определение органических соединений, не дающих окрашенных растворов, можно проводить в УФ-области (180–300 нм). На спектрах водных растворов АБСК обнаружены два максимума поглощения в интервале 190–195 нм и 223–225 нм (рис. 7). Для дальнейших исследований выбрана длина волны 224 нм, так как при этой длине волны получают более воспроизводимые результаты, а влияние посторонних веществ, поглощающих в этом интервале, либо незначительно, либо легко корректируется с помощью холостой пробы. Полученный спектр водно-спиртового раствора осадка после смешения растворов лантана и АБСК (рис. 8, 1) подобен спектру раствора АБСК в воде, что, скорее всего, связано с диссоциацией осадка в полярном растворителе, из чего можно сделать вывод о возможности определения АБСК спектрофотометрически. На спектрах фильтрата после осаждения лантана с АБСК (рис. 8, 4) характеристических пиков АБСК не обнаружено, из чего можно предположить, что алкилбензолсульфонат-ионы практически полностью перешли в осадок с лантаном.

Растворы солей лантана также поглощают в УФ-области (рис. 8, 3), что может приводить к ошибкам определения. В связи с этим рассмотрено влияние концентраций ионов лантана на значение оптической плотности растворов АБСК при 224 нм (табл. 1). Установлено,

что присутствие ионов лантана в концентрации до $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л не мешает определению АБСК. Содержание La (III) в пробе раствора осадка, определенное по методике [19], составило $1,6 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Растворы солей лантана также поглощают в УФ-области (рис. 8, 3), что может приводить к ошибкам определения. В связи с этим рассмотрено влияние концентраций ионов лантана

на значение оптической плотности растворов АБСК при 224 нм (табл. 1). Установлено, что присутствие ионов лантана в концентрации до $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л не мешает определению АБСК. Содержание La (III) в пробе раствора осадка, определенное по методике [19], составило $1,6 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

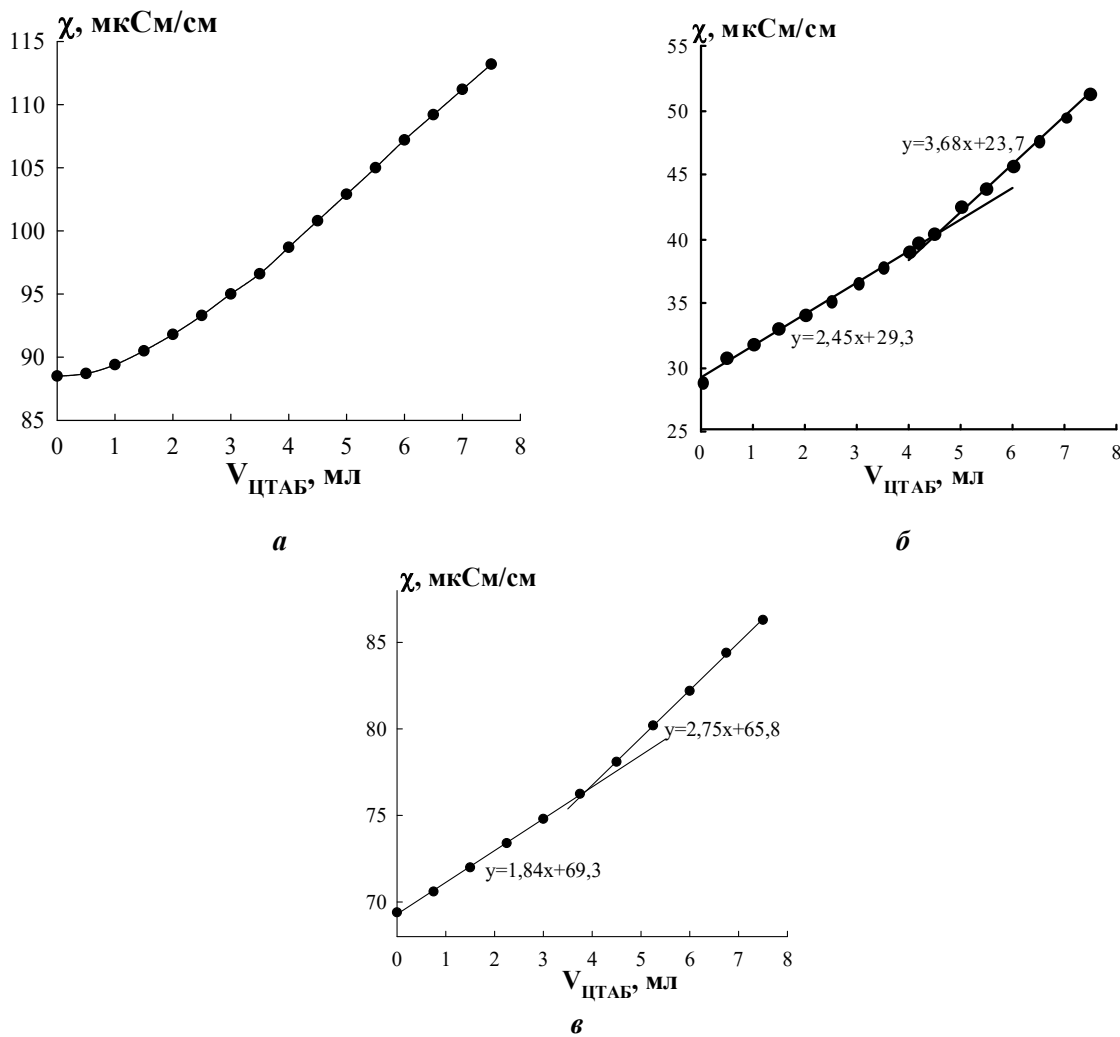


Рис. 6. Кондуктометрическое титрование 5 мл 0,01 моль/л раствора АБСК 0,01 моль/л раствором ЦТАБ: **а** – без нейтрализации; **б** – нейтрализация раствором 0,1 моль/л NaOH; **в** – в смеси с 1 мл 0,1 моль/л HNO₃, нейтрализация

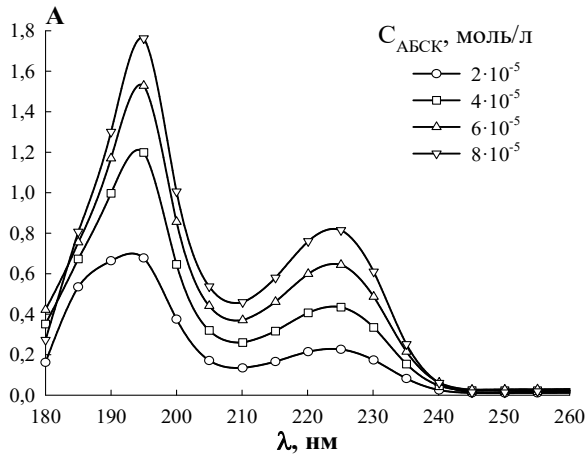


Рис. 7. УФ-спектры растворов АБСК различной концентрации на фоне воды (СФ-2000, l = 1,0 см)

Таблица 1

Влияние концентрации La(III) на интенсивность поглощения раствора АБСК
(C_{АБСК} = 4·10⁻⁵ моль/л, λ = 224 нм, l = 1,0 см)

C _{La} , моль/л	0	4·10 ⁻⁶	1·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁵
A	0,427	0,428	0,429	0,430	0,506

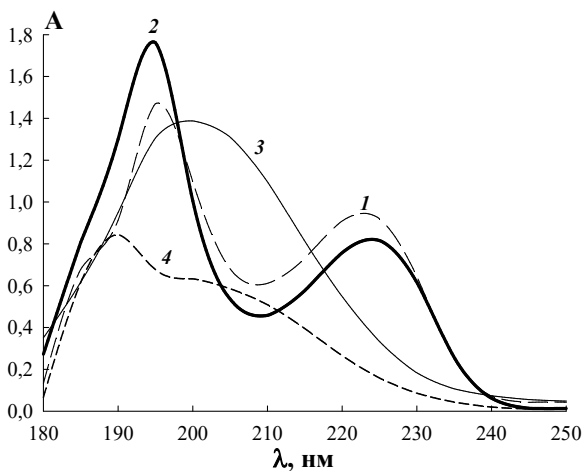


Рис. 8. На фоне холостого опыта: 1 – водно-спиртовой раствор осадка смеси АБСК и La(III) (C_{АБСК} = 6·10⁻⁵ моль/л, C_{La} = 1,6·10⁻⁵ моль/л).

На фоне воды:

2 – 8·10⁻⁵ моль/л АБСК; 3 – 5·10⁻⁵ моль/л La(III);

4 – фильтрат после осаждения АБСК с La(III)

(C_{La} = 3·10⁻⁵ моль/л)

Таблица 2

Влияние добавок этилового спирта на интенсивность поглощения раствора АБСК
(C_{АБСК} = 4·10⁻⁵ моль/л, λ = 224 нм, l = 1,0 см)

V _{EtOH} , мл	0	2,5	5
A	0,427	0,433	0,461

Осадок лантана с АБСК хорошо растворим в спирте, в связи с этим рассмотрено влияние добавок спирта на оптическую плотность. Как видно из табл. 2, введение этанола приводит к небольшому гиперхромному эффекту (увеличению оптической плотности) раствора АБСК. В дальнейшей работе измерения проводили на фоне холостой пробы, содержащей 2,5 мл этилового спирта на 25 мл, в измеряемых пробах общее содержание спирта также поддерживали 2,5 мл.

Градуировочному графику (рис. 9) соответствует уравнение прямой, полученное методом наименьших квадратов:

$$A = 11,28 \cdot C_{\text{АБСК}} + 0,0413 \quad (r^2 = 0,9978),$$

где A – оптическая плотность, C_{АБСК} – концентрация АБСК, ммоль/л

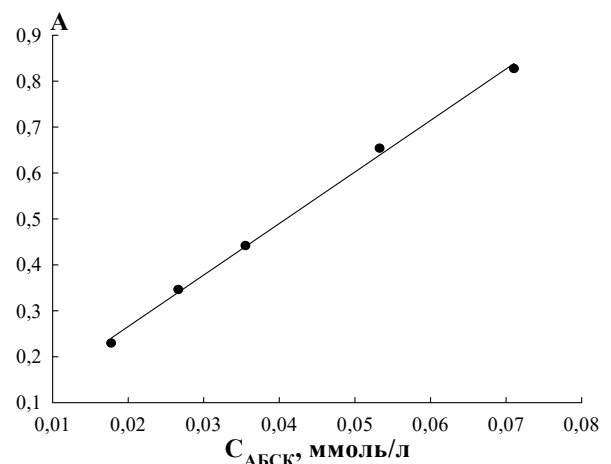


Рис. 9. Градуировочный график для фотометрического определения АБСК (2,5 мл EtOH, λ = 224 нм, l = 1 см, СФ-2000)

Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале содержания АБСК в пробе от 0,018 до 0,071 ммоль/л, $\epsilon \approx 1,13 \cdot 10^4$. Предел обнаружения, рассчитанный по методике [22], составил 0,006 ммоль/л АБСК.

Результаты проверки воспроизводимости методики фотометрического определения АБСК (метод «введено-найден»), а так же определения АБСК в осадке представлены в табл. 3.

Таблица 3

Проверка воспроизводимости фотометрической методики (метод «введено-найден») и результаты определения АБСК в растворе осадка (P = 0,95)

Определяемый раствор	Найдено, ммоль/л		
	$X_{cp} \pm \Delta X$	S_r	n
Воспроизводимость Введено 0,046 ммоль/л	0,046±0,002	0,006	6
Раствор осадка смеси La(III) и АБСК Введено 0,053 ммоль/л	0,049±0,016	0,015	5

Заключение

Полученные результаты позволяют оценить возможность определения анионогенного ПАВ алкилбензолсульфокислоты различными способами. Методами кислотно-основного титрования растворами NaOH с потенциометрическим или кондуктометрическим детектированием возможно определение АБСК в водных растворах, не содержащих посторонних компонентов. Варианты кондуктометрического титрования АБСК катионогенными ПАВ (например, цетилтриметиламмоний бромид) можно использовать после предварительной нейтрализации раствора щелочью.

Наиболее перспективным является метод спектрофотометрического определения АБСК в УФ- области. Присутствие в смесях этилового спирта повышает чувствительность метода. Методика проста в применении, обладает хорошей воспроизводимостью и достаточной чувствительностью. Предложенным способом можно определять содержание АБСК в водных растворах, а также в растворах осадка (например, для установления остаточной концентрации АБСК после флотации или определения состава осадка).

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № АААА-А18-118032790022-7).

Благодарности

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН.

Список литературы

1. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. СПб.: Профессия, 2004. С. 240.
2. Батуева Т.Д., Кондрашова Н.Б., Щербань М.Г. Модифицированные мезопористые материалы МСМ-48 и их сорбционная способность по отношению к ионам цветных металлов // Неорганические материалы. 2020. Т. 56, № 4. С. 378–384. DOI: 10.31857/S0002337X20040028.
3. Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества в анализе. Основные достижения и тенденции развития // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, № 7. С. 679–686.
4. Waldhoff H., Spilker R. Handbook of detergents. Part C: Analysis. CRC, 2004. P. 654.

5. Михалева Н.М., Кулапина Е.Г., Колотвин А.А., Лобачев А.Л. Определение гомологического распределения алкилбензолсульфонатов натрия в технических препаратах сульфонола // Журнал аналитической химии. 2007. Т. 62, № 11. С. 1205–1209.
6. ISO 78751:1996 Water quality – Determination of surfactants – Part 1: Determination of anionic surfactants by measurement of the methylene blue index (MBAS) International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
7. APHA-AWWA-SPCE Standard method for examination examination of water and waste water, 19th edn. American Public Health Association, Washington DC, USA, 1995. P. 5–39.
8. ГОСТ Р 51211-98 Вода питьевая. Методы определения содержания поверхностно-активных веществ, Москва, Россия.
9. СТБ ГОСТ Р 51022-2008 Товары бытовой химии. Методы определения анионного поверхностно-активного вещества БелГИСС, Минск, Беларусь.
10. Карпова А.Ю., Лобачева О.Л. Ионная флотация самария (3+) // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2018. Т. 22. С. 62–65.
11. Джевага Н.В., Лобачева О.Л. Атомная спектроскопия при концентрировании суммы РЗЭ ионной флотацией // Естественные и технические науки. 2019. Т. 135, № 9. С. 24–27. DOI: 10.25633/ETN.2019.09.02
12. Базель Я.Р., Антал И.П., Лавра В.М., Кормош Ж.А. Методы определения анионных поверхностно-активных веществ // Журнал аналитической химии. 2014. Т. 69, № 3. С. 228–253. DOI: 10.7868/S0044450214010046
13. Абрамзон, А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М. Поверхностно-активные вещества: справочник. Л.: Химия, 1979. С. 376.
14. Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А. Гель-экстракция ионов металлов диантипирилалканами в водных расслаивающихся системах на основе алкилбензолсульфокислоты // Вода. Химия и экология. 2017. № 1. С. 73–79.
15. Заболотных С.А., Гилева К.О., Леснов А.Е., Денисова С.А. Сравнение экстракционных возможностей систем на основе сульфонола, додецилсульфата натрия или алкилбензолсульфокислоты // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92, № 4. С. 516–522. DOI: 10.1134/S0044461819040121.
16. Брыляков Ю.Е., Быков М.Е., Кострова М.А., Паламарчук Г.К. Применение алкилбензолсульфокислоты при флотации апатита из руд Хибинского месторождения // Обогащение руд. 2003. № 5. С. 19–21.
17. Абрютин Д.В., Стрельцова К.А. Перспективы применения процесса ионной флотации // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2013. № 3. С. 3–6.
18. Медяник Н.Л., Тусупбаев Н.К., Варламова И.А., Гиревая Х.Я., Калугина Н.Л. Удаление тяжелых металлов из растворов методом ионной флотации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14, № 1. С. 18–26. DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-1-18-26.
19. Заболотных С.А., Денисова С.А. Спектрофотометрическое определение лантана (III) с арсеназо III в присутствии алкилбензолсульфокислоты // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2020. Т. 10, вып. 3.

- C. 268–276. DOI: 10.17072/2223-1838-2020-3-268-276.
20. Заболотных С.А., Желнина В.О., Денисова С.А. и др. Использование расслаивающейся системы вода – антипирин – алкилбензол-сульфокислота для экстракции ионов металлов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2017. Т. 10, № 4. С. 536–544. DOI: 10.17516/1998-2836-0047.
21. Чиркст Д.Э., Лобачева О.Л., Дзевега Н.В. Ионная флотация лантана (III) и гольмия (III) из нитратных и нитратно-хлоридных сред // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85, № 1. С. 28–31.
22. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. С. 432.
- References**
- Lange, K.R. (2004), *Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva: sintez, svoystva, analiz, primeneniye* [Surfactants: synthesis, properties, analysis, application], Professiya, St. Petersburg, Russia. (In Russ).
 - Batueva, T.D., Kondrashova, N.B., and Shcherban' M.G. (2020), "Modified MCM-48 Mesoporous Materials and Their Sorption Capacity for Nonferrous Ions", *Inorganic Materials*, Vol. 56, no. 4, pp. 360–365. DOI: 10.1134/S0020168520040020
 - Shtykov, S.N. (2000), "Surfactants in Analysis: Progress and Development Trends", *Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 55, no. 7, pp. 608–614. DOI: 10.1007/BF02827992
 - Waldhoff H., and Spilker R. (2004), *Handbook of detergents. Part C: Analysis*, CRC.
 - Mikhaleva, N.M., Kulapina, E.G., Kolotvin, A.A., and Lobachev A.L. (2007), "Determination of the Homologous Distribution of Sodium Alkykbenzenesulfonates in Commercial Sulfonol Preparations", *Journal of Analytical Chemistry*, 2 Vol. 62, no. 11, pp. 1088–1092. DOI: 10.1134/S1061934807110147
 - ISO 78751:1996 Water quality – Determination of surfactants – Part 1: Determination of anionic surfactants by measurement of the methylene blue index (MBAS) International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
 - APHA-AWWA-SPCE Standard method for examination examination of water and waste water, 19th edn. American Public Health Association, Washington DC, USA, 1995. P. 5–39.
 - GOST R 51211-98 Drinking water. Methods for determining the content of surfactants, Moscow, Russia.
 - STB GOST R 51022-2008 Household chemicals. Methods for determination of anionic surfactant BelGISS, Minsk, Belarus.
 - Karpova, A.U., and Lobacheva, O.L. (2018), "Ion Flotation of Samarium (3+) Ion", *Fundamental and applied research in the modern world*. Vol. 22, pp. 62–65. (In Russ.).
 - Dzhevaga, N.V., and Lobacheva, O.L. (2019), "Atomic spectroscopy at concentration of the mixture of REE by ion flotation", *Natural and technical sciences*, Vol. 135, no. 9, pp. 24–27. (In Russ.). DOI: 10.25633/ETN.2019.09.02
 - Bazel, Ya.R., Antal, I.P., Lavra, V.M., and Kormosh, Zh.A. (2014), "Methods for the Determination of Anionic Surfactants", *Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 69, no. 3, pp. 211–236. DOI: 10.1134/S1061934814010043
 - Abramzon, A.A., Bocharov, V.V., Gaevoy, G.M. (1979). *Poverkhnostno-aktivnyye vesh-*

- chestva: *Spravochnik [Surfactants: A Handbook]*. Khimiya, Leningrad, Russia. (In Russ.).
14. Zabolotnykh, S.A., Lesnov, A.E. and Denisova, S.A. (2017), "Gel Extraction of Metal Ions by Diantipyrylalkanes in Aqueous Stratified Systems Based on Alkylbenzenesulfonic Acid", *Water Chemistry and Ecology*, no. 1, pp. 73–79. (In Russ.).
15. Zabolotnykh, S.A., Gileva, K.O., Lesnov, A.E. and Denisova S.A. (2019), "Comparison of extractive capacities of systems based on sulfonol, sodium dodecyl sulfate, or alkyl benzene sulfonic acid", *Russian Journal of Applied Chemistry*, Vol. 92, no 4, pp. 555–561. DOI: 10.1134/S1070427219040128
16. Brylyakov, Yu.Ye., Bykov, M.Ye., Kostrova, M.A., and Palamarchuk, G.K. (2003), "Application of alkylbenzenesulfonic acid in flotation of the Khibini deposit apatite", *Ore Dressing*, no. 5, pp. 19–21. (In Russ.).
17. Abryutin, D.V., and Streltsova, K.A. (2013). "Prospects for the use of the ion flotation process", *Universities' Proceedings. Nonferrous Metallurgy*, no. 3, pp. 3–6. (In Russ.).
18. Medyanik, N.L., Tussupbayev, N.K., Varlamova, I.A., Girevaya, Kh.Ya., and Kalugina, N.L. (2016). "Removing of Heavy Metals from Solutions by the Ion Flotation Method", *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, Vol. 14, no. 1, pp. 18–26 (In Russ.). DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-1-18-26
19. Zabolotnykh, S.A., and Denisova S.A. (2020), "Spectrophotometric Determination of Lanthanum (III) with Arsenazo III in the Presence of Alkylbenzenesulfonic Acid", *Perm University Bulletin. Chemistry*. Vol. 10, no. 3, pp. 268–276. (In Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2020-3-268-276
20. Zabolotnykh, S.A., Zhelnina, V.O., Denisova, S.A., Elokhov, A.M., and Lesnov A.E. (2017), "The Water – Antipyrine – Alkyl Benzene Sulfonic Acid Stratifying System to Extract Metal Ions", *Journal of Siberian Federal University*. Vol. 10, no. 4, pp. 536–544. (In Russ.). DOI: 10.17516/1998-2836-0047
21. Chirkst, D.E., Lobacheva, O.L., and Dzhevaga, N.V. (2012), "Ion Flotation of Lanthanum (III) and Holmium (III) from Nitrate and Nitrate-chloride Media", *Russian Journal of Applied Chemistry*, Vol. 85, no. 1, pp. 25–28.
22. Bulatov M.I., and Kalinkin I.P. (1986), *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza [Practical guidance to photometric methods analysis]*, Khimiya, Leningrad, Russia. (In Russ.).

Об авторах

Светлана Александровна Заболотных,
кандидат химических наук,
младший научный сотрудник лаборатории органических комплексобразующих реагентов,
Институт технической химии УрО РАН
614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3.
zabolotsveta@mail.ru

About the authors

Svetlana A. Zabolotnykh,
Candidate of Chemical Science,
junior research assistant
Laboratory of organic complexing reagents
Institute of Technical Chemistry of the Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences
614013, 3, Koroleva st., Perm, Russia
zabolotsveta@mail.ru

Светлана Александровна Денисова,
кандидат химических наук,
доцент кафедры аналитической химии и экспертизы
Пермский государственный национальный исследо-
вательский университет
614990, г. Пермь, Букирева, 15
sw.denisova@yandex.ru

Svetlana A. Denisova,
Candidate of Chemical Science,
associate professor, Department of analytical
chemistry and expertise,
Perm State University
614990, 15, Bukireva street, Perm, Russia
sw.denisova@yandex.ru

Информация для цитирования:

Заболотных С.А., Денисова С.А. Определение алкилбензолсульфокислоты в водных растворах // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2021. Т. 11, вып. 1. С. 17–29. DOI: 10.17072/2223-1838-2021-1-17-29.

Zabolotnykh S.A., Denisova S.A. *Opredelenie alkilbenzolsulfokisloty v vodnykh rastvorakh* [Determination of alkylbenzolsulphoic acid in aqueous solutions] // *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya»* = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2021. Vol. 11. Issue 1. P. 17–29 (in Russ.). DOI:10.17072/2223-1838-2021-1-17-29.