*УДК 543.555.4 + 543.554.4 + 543.421/.424*

**С.А. Заболотных1, С.А. Денисова2**

1«Институт технической химии УрО РАН», Пермь, Россия

2Пермский 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, коэффициент экстинции).*

**Ключевые слова**: алкилбензолсульфокислота, потенциометрическое титрование, кондуктометрическое титрование, УФ-спектроскопия.

**S.A. Zabolotnykh[[1]](#footnote-1), S.A. Denisova2**

1“Institute of Technical Chemistry Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”, Perm, Russia

2Perm State National Research University, Perm, Russia

**DETERMINATION OF ALKYLBENZOLSULPHOIC 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 aqeous 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.*

**Key words**: alkylbenzenesulfonic acid, potentiometric titration, conductometric titration, UV spectroscopy*.*

**Введение**

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 С10–С18, 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 проточно-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 алклибензолсульфонат-иона тремя методами: титрованием раствором гидроксидом натрия с потенциометрическим или кондуктометрическим 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 CnH2n+1C6H4SO3Н, где n = 10–14, содержание основного вещества 96%); бромид тетрабутиламмония (ТБАБ), ч. (Реахим); бромид цетилтриметиламмония (ЦТАБ), х.ч. (Alfa Aesar); азотную кислоту, концентрированную (ρ = 1,387 г/мл, Вектон), х.ч.; гексагидрат нитрата лантана, х.ч. (Реахим); спирт этиловый 95%; дистиллированную воду.

Растворы с концентрацией 0,1 моль/л готовили растворением точной навески реактива в дистиллированной воде. Раствор 0,1 моль/л NaOH готовили из фиксанала. 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». 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 и анализировали (S1).

*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 HNO3 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.

Спектрофотометрическиеисследования 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 раствора осадка 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.

**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 рН (рис. 1***а***). При уменьшении концентрации АБСК скачок сглаживается, для более точного определения точки эквивалентности строят дифференциальную кривую (рис. 1***б***).

|  |  |
| --- | --- |
| ***а*** | ***б*** |
| Рис. 1. Потенциометрическое титрование 10 мл (***а***) 0,01 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором NaOH,  (***б***) 0,001 моль/л раствора АБСК 0,01 моль/л раствором NaOH.  ***1*** – интегральная кривая, ***2*** – дифференциальная кривая. | |

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***а***). При низких концентрациях строят касательные, и по их пересечению находят точку эквивалентности (рис. 2***б***).

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.

|  |  |
| --- | --- |
| ***а*** | ***б*** |
| Рис. 2. Кондуктометрическое титрование 10 мл (***а***) 0,01 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором NaOH,  (***б***) 0,001 моль/л раствора АБСК 0,01 моль/л раствором NaOH. | |
|  |  |
| Рис. 3. Потенциометрическое титрование смеси 1 мл 0,1 моль/л HNO3 и 10 мл 0,01 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором NaOH: ***1*** – интегральная кривая, ***2*** – дифференциальная кривая. | Рис. 4. Кондуктометрическое титрование смеси 1 мл 0,1 моль/л HNO3 и 10 мл 0,01 моль/л раствора АБСК 0,1 моль/л раствором NaOH в присутствии органических растворителей. |

|  |
| --- |
|  |
| 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. |

Во-вторых, методики позволяют определять содержание ионов H+ (по которым косвенно в 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.

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

|  |
| --- |
|  |
| ***а*** |
|  |
| ***б*** |
|  |
| ***в*** |
| 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. |

***Кондуктометрическое титрование   
катионногенными ПАВ***

В работе [21] и в работах других авторов

определение додецилсульфат-иона проводили потенциометрическим титрованием хлоридом цетилтриметиламмония с ионселективным электродом. В присутствии катионогенного 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 ТБАБ точки излома не наблюдается, электропроводность монотонно увеличивается при добавлении титранта. Предварительная нейтрализация раствора 0,1 М NaОН также не оказала эффекта на вид кривой титрования(рис. 5).

При замене ТБАБ на ЦТАБ картина меняется. Без предварительной нейтрализации раствора определение АБСК-аниона затруднено (рис. 6***а***). После предварительной нейтрализации анализируемого раствора кривая титрования имеет два линейных участка, что свидетельствует о возможности определения АБСК (рис. 6***б***). Также установлена возможность титрования АБСК в присутствии азотной кислоты, если предварительно нейтрализовать раствор (рис. 6***в***). К сожалению, метод также обладает существенным недостатком: очень узким интервалом определяемых концентраций АБСК. Данным методом возможно установить содержание АБСК в пробе от 1,2·10-3 до 2,0·10-3 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. 9). Более удобной для работы является длина волны 224 нм. Полученные спектры раствора осадка лантана с АБСК подобны спектрам растворов АБСК, из чего можно сделать вывод о возможности определения АБСК спектрофотометрически (рис. 10). На спектрах фильтрата после осаждения лантана с АБСК характеристических пиков АБСК не обнаружено.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 9. УФ-спектры растворов АБСК различной концентрации на фоне воды (СФ-2000, l = 1,0 см) | Рис. 10. Спектры на фоне воды:  ***1*** – 8·10-5 моль/л АБСК; ***2*** – 5·10-5 моль/л La(III);  ***3*** – водно-спиртовой раствор осадка АБСК с La(III) (CАБСК = 6·10-5 моль/л, CLa = 2·10-5 моль/л);  ***4*** – фильтрат после осаждения АБСК с La(III)  (CLa = 3·10-5 моль/л). |

**Таблица 1. Влияние концентрации La(III) на интенсивность поглощения раствора АБСК   
(САБСК = 4·10-5 моль/л, λ = 224 нм, l = 1,0 см)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **СLa, моль/л** | 0 | 4·10-6 | 1·10-5 | 2·10-5 | 5·10-5 |
| **А** | 0,427 | 0,428 | 0,429 | 0,430 | 0,506 |

Растворы солей лантана также поглощают в УФ-области (рис.10, кривая ***2***), что может приводить к ошибкам определения. Вследствие этого, рассмотрено влияние концентраций ионов лантана на значение оптической плотности растворов АБСК при 224 нм (табл. 1). Установлено, что присутствие ионов лантана в концентрации до 2·10-5 моль/л не мешает определению АБСК. Содержание La(III) в пробе раствора осадка, определенное по методике [19], составило 1,6·10-5 моль/л.

Осадок лантана с АБСК хорошо растворим в спирте, в связи с этим рассмотрено влияние добавок спирта на оптическую плотность. Как видно из таблицы 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.

**Таблица 2. Влияние добавок этилового спирта на интенсивность поглощения раствора АБСК**

**(САБСК = 4·10-5 моль/л, λ = 224 нм, l = 1,0 см )**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **VEtOH, мл** | 0 | 2,5 | 5 |
| **А** | 0,427 | 0,433 | 0,461 |

Градуировочному графику (рис. 11) соответствует уравнение прямой, полученное методом наименьших квадратов:

А = 11,28∙CАБСК +0,0413 (r2 = 0,9978),

где А – оптическая плотность, CАБСК – 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 Бэра выполняется в интервале содержания АБСК в пробе от 0,018 до 0,071 ммоль/л мкг, ε ≈ 1,13∙104. Предел обнаружения, рассчитанный по методике [22], составил 0,006 ммоль/л АБСК.

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

**Таблица 3. Проверка воспроизводимости фотометрической методики (метод «введено-найдено») и результаты определения АБСК в растворе осадка (Р = 0,95)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Определяемый раствор** | **Найдено, ммоль/л** | | |
| **Хср+ ΔX** | **Sr** | **n** |
| Воспроизводимость  Введено 0,046 ммоль/л | 0,046±0,002 | 0,006 | 6 |
| Раствор осадка La с 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.*

**Библиографический список**

*Ланге К.Р.* Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. СПб.: Профессия, 2004. 240 с.

*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](https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=42650782&selid=42650788). C. 378–384. DOI: [10.31857/S0002337X20040028](https://doi.org/10.31857/S0002337X20040028)

1. *Штыков С.Н.* Поверхностно-активные вещества в анализе. Основные достижения и тенденции развития / С.Н. Штыков // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, № 7. С. 679–686.

*Waldhoff H., Spilker R.* Handbook of detergents. Part C: Analysis. CRC, 2004. 654 p.

*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.

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. Р. 5–39.

ГОСТ Р 51211-98 Вода питьевая. Методы определения содержания поверхностно-активных веществ, Москва, Россия.

СТБ ГОСТ Р 51022-2008 Товары бытовой химии. Методы определения анионного поверхностно-активного вещества БелГИСС, Минск, Беларусь.

1. *Карпова А.Ю., Лобачева О.Л.* Ионная флотация самария (3+) // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2018. Т. 22. С. 62–65.
2. *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

*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

*Абрамзон, А.А.* Поверхностно-активные вещества: Справочник / А.А. Абрамзон, В.В. Бочаров, Г.М. Гаевой. – Л.: Химия, 1979. – 376 c.

1. *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.
2. *Заболотных С.А., Гилева К.О., Леснов А.Е, Денисова С.А.* Сравнение экстракционных возможностей систем на основе сульфонола, додецилсульфата натрия или алкилбензолсульфокислоты // Журнал при-кладной химии. 2019. Т. 92, № 4. С. 516–522. DOI: 10.1134/S0044461819040121
3. *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.
4. *Абрютин Д.В., Стрельцова К.А.* Перспективы применения процесса ионной флотации // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2013. № 3. С. 3–6.
5. *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

*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. С. 268–276. DOI: 10.17072/2223-1838-2020-3-268-276

*Заболотных С.А., Желнина В.О., Денисова С.А. и др.* Использование расслаивающейся системы вода – антипирин – алкилбензолсульфокислота для экстракции ионов металлов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2017. Т. 10, № 4. С. 536–544. DOI: 10.17516/1998-2836-0047

*Чиркст Д.Э., Лобачева О.Л., Джевага 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.

*Булатов М.И., Калинкин И.П.* Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.

***Refernces***

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*, V. 56, no. 4, pp. 360–365. DOI: 10.1134/S0020168520040020

1. Shtykov, S.N. (2000), “Surfactants in Analysis: Progress and Development Trends”, *Journal of Analytical Chemistry*, V. 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*, V. 62, no. 11, pp. 1088–1092. DOI: [10.1134/S1061934807110147](https://doi.org/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. Р. 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.

1. Karpova, A.U., and Lobacheva, O.L. (2018), “Ion Flotation of Samarium (3+) Ion”, *Fundamental and applied research in the modern world*. V. 22, pp. 62–65. (In Russ.).
2. Dzhevaga, N.V., and Lobacheva, O.L. (2019), “Atomic spectroscopy at concentration of the mixture of REE by ion flotation”, *Natural and technical sciences*, V. 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*, V. 69, no. 3, pp. 211–236. DOI: 10.1134/S1061934814010043

Abramzon, A.A., Bocharov, V.V., Gaevoy, G.M. (1979). *Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva: Spravochnik* *[Surfactants: A Handbook]*. Khimiya, Leningrad, Russia. (In Russ.).

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.).

1. 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*](http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=951784), V. 92, no 4, pp. 555–561. DOI: 10.1134/S1070427219040128
2. 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.).
3. Abryutin, D.V., and Streltsova, K.A. (2013). “Prospects for the use of the ion flotation process”, *Universitiesʹ Proceedings. Nonferrous Metallurgy,* no. 3, pp. 3–6. (In Russ.).
4. 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*,V. 14, no. 1, pp, 18–26 (In Russ.). DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-1-18-26
5. 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*. V. 10, no. 3, pp. 268–276. (In Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2020-3-268-276
6. 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*. V. 10, no. 4, pp. 536–544. (In Russ.). DOI: 10.17516/1998-2836-0047

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*, V. 85, no. 1, pp. 25–28.

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** | **About the authors** |
| Заболотных Светлана Александровна,  кандидат химических наук, младший научный сотрудник лаборатории органических комплексообразующих реагентов  Институт технической химии УрО РАН  614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3.  zabolotsveta@mail.ru | Zabolotnykh Svetlana Aleksandrovna,  Ph.D. in Chemistry, 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 |
| Денисова Светлана Александровна,  кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы  ФГБОУ «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  614990, г. Пермь, Букирева, 15  sw.denisova@yandex.ru | Denisova Svetlana Aleksandrovna,  Ph.D. in Chemistry, associate professor,  Department of analytical chemistry and expertise,  Perm State University  614990, 15, Bukireva street, Perm, Russia  sw.denisova@yandex.ru |

1. © Заболотных С.А., Денисова С.А., 2021 [↑](#footnote-ref-1)