



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.054:661.185.22

doi: 10.17308/sorpchrom.2025.25/12956

Определение додецилсульфата натрия в водных растворах амперометрическим сенсором

Михаил Евгеньевич Дядищев¹,

Наталья Викторовна Моргачева¹, Александр Николаевич Зяблов^{1,2✉}

¹Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, Елец, Россия, alex-n-z@yandex.ru✉

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация. Натриевые соли органосульфатных эфиров являются основными представителями поверхностно-активных веществ анионного характера, которые находят широкое промышленное применение, к которым относится додецилсульфат натрия. Преимущественно это вещество используется в различных отраслях химической промышленности: фармацевтической, химической, косметической и некоторых других. Ввиду его распространённости важно иметь надёжные экспрессные методы идентификации и контроля его содержания в различных средах. Один из способов может быть реализован на основе амперометрического метода с использованием сенсоров, модифицированных полимерами с молекулярным отпечатком додецилсульфата натрия. Известно, что наибольший интерес среди селективных материалов представляют полиимиды, вследствие чего на основе сополимера диангидрида 1,2,4,5-бензотетракарбоновой кислоты и 4,4'-диаминодифенилоксида были разработаны данные МИП. В ходе работы экспериментально определены метрологические характеристики полученных сенсоров на основе анализируемого ПАВ. Определение вещества в водных растворах проводили с использованием метода градуровочного графика. Диапазон определяемых концентраций додецилсульфата натрия составил 0.03–0.5 г/дм³ и предел обнаружения – 0.015 г/дм³. Отработку методики определения додецилсульфата натрия проводили на модельных растворах, приготовленных методом последовательного разбавления. Проверку правильности определения устанавливали методом «введено–найдено». Экспериментально полученные данные свидетельствуют о возможности амперометрического сенсора определять анализируемое вещество. Значение относительного стандартного отклонения проведенных сравнительных экспериментов концентраций додецилсульфата натрия в приготовленных модельных растворах и установленных с помощью МИП-сенсора на основе отпечатка додецилсульфата натрия незначительно превышает 10%. Применение предложенного способа обеспечивает быстрый и простой способ оценки содержания поверхностно-активного вещества в водных растворах, что делает его перспективным для применения в аналитической химии и контроле качества водных растворов.

Ключевые слова: поверхностно-активное вещество, додецилсульфат натрия, водный раствор, амперометрический метод, молекулярно-импринтированные полимеры.

Для цитирования: Дядищев М.Е., Моргачева Н.В., Зяблов А.Н. Определение додецилсульфата натрия в водных растворах амперометрическим сенсором // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2025. Т. 25, № 2. С. 171–176. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/12956>

Original article

Determination of sodium dodecylsulphate in aqueous solutions by amperometric methods

Mikhail E. Dyadishchev¹, Natalia V. Morgacheva¹, Alexander N. Zyablov^{1,2✉}

¹Yelets State University named after I.A. Bunina, Yelets, Russian Federation, alex-n-z@yandex.ru✉

²Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation



Abstract. Sodium salts of organosulfate ethers are the main representatives of anionic surfactants that are widely used in industry; sodium dodecyl sulfate belongs to these salts. This substance is mainly used in various branches of the chemical industry: pharmaceutical, chemical, cosmetic and some others. Due to its prevalence, it is important to have reliable express methods for identifying and monitoring its content in various environments. One of the methods can be implemented based on the amperometric method using sensors modified with polymers with a molecular imprint of sodium dodecyl sulfate. It is known that polyimides are of the greatest interest among selective materials, as a result of which these MIPs were developed based on a copolymer of 1,2,4,5-benzenetracarboxylic acid dianhydride and 4,4'-diaminodiphenyl oxide. In the course of the work, the metrological characteristics of the obtained sensors based on the analyzed surfactant were experimentally determined. The substance in aqueous solutions was determined using the calibration graph method. The range of determined concentrations of sodium dodecyl sulfate was 0.5–0.03 g/dm³ and the detection limit is 0.015 g/dm³. The development of the method for determining sodium dodecyl sulfate was carried out on model solutions prepared by the method of successive dilution. The correctness of the determination was verified by the "added - found" method. The experimentally obtained data indicate the ability of the amperometric sensor to determine the analyzed substance. The value of the relative standard deviation of the conducted comparative experiments of sodium dodecyl sulfate concentrations in the prepared model solutions and determined using the MIP sensor based on the sodium dodecyl sulfate imprint slightly exceeds 10%. The use of the proposed method provides a fast and simple way to assess the content of surfactant in aqueous solutions, which makes it promising for use in analytical chemistry and quality control of aqueous solutions.

Keywords: surfactant, sodium dodecyl sulfate, aqueous solution, amperometric method, molecularly imprinted polymers.

For citation: Dyadishchev M.E., Morgacheva N.V., Zyablov A.N. Determination of sodium dodecylsulphate in aqueous solutions by amperometric methods. *Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy. 2025. 25(2): 171-176. (In Russ.).* <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/12956>

Введение

В настоящее время немалый интерес представляют поверхностно-активные вещества (ПАВ) в связи с их масштабным и повсеместным использованием в различных сферах жизни человека. На сегодняшний день, мы чаще имеем дело с синтетическими ПАВ, следовательно эти органические соединения являются значительной составляющей химической промышленности. Области применения ПАВ самые разнообразные, к ним можно отнести вышеупомянутую химическую промышленность (в частности, химико-фармацевтическая промышленность), нефтяную промышленность и некоторые другие [1].

Одним из широко применяемых поверхностно-активных веществ является додецилсульфат натрия. Он входит в состав моющих средств (мыла, шампуни и гели для душа, кремы для бритья, зубные пасты, пены для ванн и стиральных порошков) и средств для удаления различных жирных пятен и масляных остатков. Известно, что данное анионное поверх-

ностно-активное вещество является частью не только очищающих, косметических и промышленных средств, но и некоторых продуктов фармацевтической промышленности, в которой додецилсульфат натрия активно выступает в роли ионного солюбилизатора и эмульгатора. Кроме того, додецилсульфат натрия относится к пищевым добавкам (E487), хотя его применение в пищевых продуктах в ряде стран, включая Россию, запрещено.

Также следует отметить, что многие ПАВ являются одними из основных загрязнителей окружающей среды, имеют длительное время разложения и оказывают негативное влияние на флору и фауну, и на здоровье человека [2].

Поэтому определение ПАВ в различных объектах является актуальной задачей аналитической химии. Как правило, для этого применяют спектральные, электрохимические и хроматографические методы [3, 4]. Не менее актуален и перспективен внелабораторный анализ, который может быть осуществлен с помощью портативных устройств, таких как сенсорные системы [5-9].

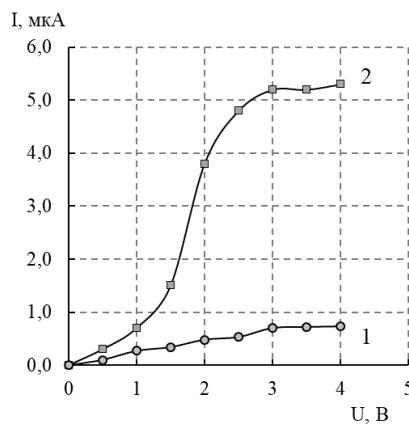
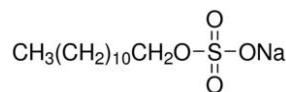


Рис. 1. Вольтамперограмма холостой пробы (1) и водного раствора додецилсульфата натрия (2)
Fig. 2. Voltammogram of a blank sample (1) and an aqueous solution of sodium dodecyl sulfate (2)

В связи с этим, целью работы была разработка амперометрического способа определения додецилсульфата натрия в модельных водных растворах сенсорами, модифицированными полимерами с молекулярными отпечатками.

Экспериментальная часть

В работе использовалось поверхностно-активное вещество – додецилсульфат натрия (лаурилсульфат натрия). Соединение анионного характера, представляет собой натриевую соль органосульфата, состоящую из двенадцати атомов углерода. Органосульфаты (сульфатные эфиры) в свою очередь представляет собой сложные эфиры, полученные из различных спиртов и серной кислоты. Молярная масса додецилсульфата натрия составляет 288.372 г/моль.



Для исходных растворов анализируемого вещества использовали стандартное вещество додецилсульфата натрия, по навеске, взятой на аналитических весах. Следующим этапом готовили серию растворов методом последовательного разбавления в диапазоне концентраций 0.5–0.03 г/дм³.

Планарные двухэлектродные амперометрические сенсоры получены методом термопринта на медном фольгированном

текстолите. Поверхность электродов сенсоров покрыли молекулярно-импринтированным полимером на основе полиимида [10].

Синтез МИП осуществляли из сополимера диангидрида 1,2,4,5-бензолтетракарбоновой кислоты с 4,4'-диаминодифенилоксидом в N,N-диметилформамиде и темплада – додецилсульфат натрия в объемном соотношении 1:1 [11] по двухстадийной методике, описанной в работах [12-14]. Полученные сенсоры с МИП сравнивали с сенсорами покрытыми неимпринтированным полимером (НП), представляющим собой чистый полиимид [15].

Эксперименты проводили на установке, состоящей из источника питания (QJ1803C, Китай), мультиметра (B7-78/1, Китай) и амперометрического сенсора.

Вначале эксперимента строили вольтамперную зависимость I, мА от U, В согласно которой, предельному току соответствует 3.0 В (рис.1). При этом напряжении проводили все последующие измерения.

Поскольку метод не относится к категории безэталонных методов, то вначале измеряли величину тока (I_1 , мА) протекающего в системе, когда модифицированные электроды нагружены 1 мкл «холостой» пробой (В качестве «холостой» пробы была дистиллированная вода, из которой были приготовлены стандартные

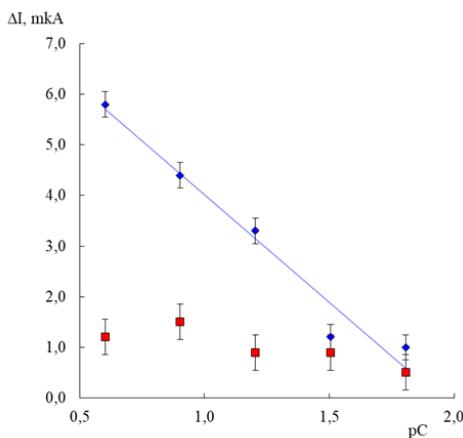


Рис. 2. Зависимость силы тока от pC ($-\lg C$) в водном растворе 1 – для сенсора на основе МИП-Е487; 2 – для сенсора на основе НП

Fig. 2. Dependence of current on pC ($-\lg C$) in aqueous solution 1 – for a sensor based on MIP – E487; 2 – for non-imprinted polymer based sensor

Таблица 1. Метрологические характеристики сенсора на основе МИП-Е487
Table 1. Metrological characteristics of a sensor based on MIP-E487

Сенсор	Аналит	Диапазон определяемых концентраций, г/дм ³	C_{min} , г/дм ³	Sr, %
МИП-Е487	Додецилсульфат натрия	0.5-0.03	0.015	5.7

растворы). Затем «холостую» пробу удаляли фильтровальной бумагой и наносили 1 мкл анализируемого раствора и фиксировали значение I_2 , мкА. Изменение силы тока вычисляли по разности двух значений:

$$\Delta I = I_2 - I_1 \quad (1)$$

Измерения проводили, переходя от разбавленных растворов к более концентрированным.

Коэффициент чувствительности амперометрических сенсоров (S , мкА, дм³/г) вычисляли в качестве соотношения изменения значения силы тока к концентрации определяемого вещества (C , г/дм³) согласно формуле (2):

$$S = \frac{\Delta I}{C} \quad (2)$$

Обсуждение результатов

Определение додецилсульфата натрия в водных растворах проводили с использованием метода градуровочного графика (рис. 2). Для МИП-сенсора наблюдается линейная зависимость ΔI от $(-\lg C)$, с высоким коэффициентом детерминации

$R^2=0.95$, описываемая прямой вида: $\Delta I_{\text{МИП}} = -(3.79 \pm 0.02) \cdot C + (7.61 \pm 0.04)$.

Экспериментально установленные метрологические характеристики амперометрического сенсора на основе – додецилсульфата натрия представлены в таблице 1. Экспериментально установленный предел обнаружения додецилсульфата натрия составил 0.015 г/дм³.

Правильность определения додецилсульфата натрия в модельных растворах с помощью модифицированного амперометрического сенсора проверено методом «введено – найдено» (табл.2).

Из полученных данных видно, что относительное стандартное отклонение не превышает 8%.

Также было проведено определение додецилсульфата натрия в модельных растворах. Результаты определения представлены в таблице 3.

Таким образом, экспериментально полученные данные свидетельствуют о возможности МИП-сенсора определять анализируемое вещество. Относительное стандартное отклонение проведенного



Таблица 2. Определение додецилсульфата натрия в модельных растворах с помощью амперометрического сенсора методом «введенено – найдено»

Table 2. Determination of sodium dodecyl sulfate in model solutions using an amperometric sensor using the “introduced-found” method

Сенсор	Аналит	Введено C, г/дм ³	Найдено C, г/дм ³	Sr, %
МИП-Е487	Додецилсульфат натрия	0.5	0.62±0.04	4.0
		0.25	0.27±0.04	5.9
		0.125	0.126±0.009	7.8

Таблица 3. Определение додецилсульфата натрия в модельных растворах с помощью амперометрического сенсора методом добавок

Table 3. Determination of sodium dodecyl sulfate in model solutions using an amperometric sensor using the additive method

Сенсор	Аналит	Введено C, г/дм ³	Найдено C, г/дм ³	Sr, %
МИП-Е487	Додецилсульфат натрия	0.5	0.62±0.04	4.0
	Хлорид натрия	0.5	0.00007±0.00003	15.6

сравнения концентраций додецилсульфата натрия приготовленных модельных растворов и установленных с помощью МИП-сенсора на основе отпечатка додецилсульфата натрия незначительно превышает 10%.

Заключение

В работе разработан сенсор с отпечатком додецилсульфат натрия и амперометрическим методом проведено определение этого ПАВ в жидких средах. Экспериментально установлено, что диапазон определяемых концентраций додецилсульфата натрия составляет 0.5-0.03 г/дм³ и предел обнаружения – 0.015 г/дм³. Следует отметить, что данный метод харак-

теризуется высокой степенью избирательности, чувствительности, экспрессности, а также возможностью автоматизации и относительно невысокой стоимостью. Среди большого количества других методов анализа, именно амперометрический метод, основанный на использовании амперометрических сенсоров, является более удобным, быстрым и все более и более универсальным.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

Список литературы/References

1. Neudachina L.K., Petrova Yu.S. Application of surfactants in analysis. - Ekaterinburg: Publishing house of the Ural. University, 201. 76 p. (In Russ.)
2. Ostroumov S.A. Biological effects of surfactants on organisms. M.: MAX Press, 2001 331 p. (In Russ.)
3. Tikhonova M.V., Physicochemical methods of analysis: Textbook [Electronic resource] Tomsk: TUSUR, 201. 71 p. (In Russ.)
4. Dyadishchev M.E. Methods for Determining Sodium Dodecyl Sulfate in Wastewater. School of Young Scientists: Proceedings of the Regional Profile Seminar on Problems of Natural Sciences, Lipetsk, November 27, 2024. Lipetsk: Lipetsk State Pedagogical University named after P.P. Semenov-Tyan-Shansky, 2024; 174-176. (In Russ.)
5. Leite V. Determination of organic pollutants in drinking, natural and waste water. M.: Chemistry, 1975. 133 p.



6. Ziyatdinova G.K., Antonova T.S., Mubarakova L.R., Budnikov G.K. Amperometric sensor based on tin dioxide and cetylpyridinium bromide nanoparticles for the determination of vanillin. *Journal of Analytical Chemistry*. 2018; 73(8): 632-640 <https://doi.org/10.1134/S0044450218080121>
7. Shankaran D.R., Narayanan S.S. Amperometric sensor for hydrazine determination based on electrode modified with mechanically immobilized nickel. *Electrochemistry*. 2001; 37(11): 1322-1326.
8. Buzanovsky V.A. Amperometric and voltammetric sensors with carbon nanotubes for medical, pharmaceutical and biochemical research. *Applied Physics and Mathematics*. 2013; 1: 40-67.
9. Holmberg K., Jensson B., Kronberg B., Lindman B. Surfactants and polymers in aqueous solutions. M.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2020. 531 p.
10. Merenkova A.A., Wu H.I., Grechkina M.V., Zyablov A.N. Surface morphology of molecularly imprinted polymers based on polyimide. *Sorbtionnye I khromatograficheskiye protsessy*. 2020; 20(6): 760-764. (In Russ.)
11. Cao Nhat Linh, Zyablov A.N., Duvanova O.V., Selemenev V.F. Sorption of carboxylic acids by molecularly imprinted polymers. *News of universities. Chemistry and chemical technology*. 2020; 63(2): 71-76. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20206302.6071>
12. Vu Hoang Yen, Zyablov A.N. Determination of potassium sorbate and sodium benzoate in soft drinks using piezosensors based on molecularly imprinted polymers. *News of universities. Chemistry and chemical technology*. 2022; 65(10): 14-20. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226510.6584>
13. Cao Nhat Linh, Duvanova O.V., Zyablov A.N., Nguyen Anh Tien. Application of piezosensors based on molecularly imprinted polyimide for the determination of caffeine in tea. *Chemistry of plant raw materials*. 2021; 2: 173-180. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021028239>
14. Merenkova A.A., Zhuzhukin K.V., Zyablov A.N., Belchinskaya L.I. Determination of formaldehyde in industrial solutions using piezoelectric sensors. *Analytics and control*. 2021; 25(2): 140-145. <https://doi.org/10.15826/analitika.2021.25.2.003>
15. Korolev A.I., Zavarykina S.A., Kao N.L. Determination of the content of carboxylic acids in industrial solutions using piezoelectric sensors modified with molecularly imprinted polymers. *Sorbtionnye I khromatograficheskiye protsessy*. 2020; 20(2): 271-276. <https://doi.org/10.17308/sorptom.2020.20/2782> (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

М.Е. Дядищев – аспирант кафедры химико-биологических дисциплин и фармакологии, ЕГУ имени И.А. Бунина, Елец, Россия

Н.В. Моргачева – к.п.н., доцент, заведующий кафедрой химико-биологических дисциплин и фармакологии, ЕГУ имени И.А. Бунина, Елец, Россия

А.Н. Зяблов – д.х.н., профессор кафедры аналитической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, профессор кафедры химико-биологических дисциплин и фармакологии, ЕГУ имени И.А. Бунина, Елец, Россия

M.E. Dyadishchev – post graduate student of the Department of Chemical and Biological Disciplines and Pharmacology, ESU named after I.A. Bunin, Yelets, Russian Federation

N.V. Morgacheva – Ph.D. of Pedagogic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemical and Biological Disciplines and Pharmacology, ESU named after I.A. Bunin, Yelets, Russian Federation

A.N. Zyablov – Dr.Sci. (Chemistry), professor, department of analytical chemistry, Voronezh State University, Voronezh, professor department of Chemical and Biological Disciplines and Pharmacology, ESU named after I.A. Bunin, Yelets, Russian Federation, e-mail: alex-n-z@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 19.10.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2025; принята к публикации 16.04.2025.

The article was submitted 19.10.2024; approved after reviewing 10.04.2025; accepted for publication 16.04.2025.