

Фотометрическое определение сульфид ионов в растворах

© Скрипников Евгений Александрович, Хабаров*⁺ Юрий Германович,
Вешняков Вячеслав Александрович, Плахин Вадим Александрович

Кафедра целлюлозно-бумажных и лесохимических производств. Высшая школа естественных наук
и технологий. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова.

ул. Набережная Северной Двины, 17. г. Архангельск, 163002. Россия.

Тел.: + 7 (8182) 216-143. E-mail: khabarov.yu@mail.ru

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: модифицированные лигносульфоновые кислоты, нитрозолигносульфоновые кислоты, сульфид натрия, фотометрия, фотометрическая реакция, спектрофотометрия.

Аннотация

Органические и неорганические сульфиды находят применение в химической, целлюлозно-бумажной промышленности, металлообработке, аналитической химии, при производстве полимеров, цветных металлов, красителей, пигментов и серной кислоты. Сероводород и некоторые другие сульфиды являются токсичными соединениями, при попадании в окружающую среду оказывают негативное воздействие. Поэтому определение сероводорода и сульфидов является актуальной задачей. В данной статье приведены результаты разработки фотометрического метода определения сульфид ионов в водной среде. В качестве цветореагента предложено использовать водный раствор сульфата меди(II). При взаимодействии цветореагента с сульфидом натрия образуется осадок чёрного цвета (сульфид меди), что делает невозможным прямое использование этой реакции для фотометрии. Выделение осадка сульфида меди удалось предотвратить с помощью нитрозированных лигносульфоновых кислот, выступающих в качестве стабилизатора коллоидного раствора. При комнатной температуре реакция проходит в момент добавления цветореагента с сильным изменением окраски раствора. В ультрафиолетовой области спектра закон Бугера-Ламберта-Бера соблюдается при концентрациях сульфид иона в растворе от 0 до 12 мг(S²⁻)/л и от 12 до 62 мг(S²⁻)/л в видимой области. Оптическая плотность продуктов фотометрической реакции устойчива минимум в течение первых 8 мин., а измеренная при 280 нм стабильна в течение не менее 5 ч. Фотометрическая реакция хорошо воспроизводима. Коэффициент вариации результатов фотометрической реакции при изученных длинах волн не превышает 5%. Процент определения концентрации сульфид ионов по разработанной методике для ультрафиолетовой области составил 101-106%, для видимой области – 100-112%.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Скрипников Е.А., Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Плахин В.А. Фотометрическое определение сульфид ионов в растворах. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.85. №3. С.65-74. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-3-65

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Скрипников Е.А., Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Плахин В.А. Фотометрическое определение сульфид ионов в растворах. *Бутлеровские сообщения А*. 2026. Т.12. №1. Id.12. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-3-65/ROI-jbc-RA/26-12-1-12

The output for citing the English online version of the article:

Yury G. Khabarov, Evgeny A. Skripnikov, Viacheslav A. Veshnyakov, Vadim A. Plakhin. Photometric determination of sulfide ions. *Butlerov Communications A*. 2026. Vol.12. No.1. Id.12. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-3-65/ROI-jbc-A/26-12-1-12

Литература

- [1] P. Patnaik. A comprehensive guide to the hazardous properties of chemical substances. *New Jersey.: John Wiley & Sons*. 2007. 1087p.
- [2] J. Lawrence, K.L. Robinson, N.S Lawrence. Electrochemical determination of sulfide at various carbon substrates: A comparative study. *Analytical Sciences*. 2007. Vol.23. No.6. P.673-676. DOI: 10.2116/analsci.23.673
- [3] Садиева Х.Р., Атенев Е.И., Балтабаева Д.Г. Создание отечественного производства тиосолей на основе нефтяной серы. *НЕФТЕХИМИЯ-2018*. 2018. С.11-14. [Kh.R. Sadieva, E.I. Atenov, D.G. Baltabaeva.

- Полная исследовательская публикация** Скрипников Е.А., Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Плахин В.А.
Creation of domestic production of thiosalts based on petroleum sulfur. *PETROCHEMISTRY-2018*. **2018**. P.11-14. (Russian)]
- [4] Позин М.Е. Технология минеральных солей: в 2-х томах. Т. 2. *Ленинград: Химия*. **1974**. С.466-470. [M.E. Pozin. Technology of mineral salts: in 2 volumes. Vol.2. *Leningrad: Chemistry*. **1974**. P.466-470. (Russian)]
- [5] E.A. Kozlova, V.N. Parmon. Heterogeneous semiconductor photocatalysts for hydrogen production from aqueous solutions of electron donors. *Russian Chemical Reviews*. **2017**. Vol.86. No.9. P.870-906. DOI: 10.1070/RCR4739
- [6] Коваль И.В. Сульфиды в органическом синтезе. Применение сульфидов. *Успехи химии*. **1994**. Т.63. №2. С.154-176. [I.V. Koval. Sulfides in organic synthesis. Application of sulfides. *Russian Chemical Reviews*. **1994**. Vol.63. No.2. P.154-176. (Russian)]
- [7] J. Yang, E. Sargent, S. Kelley, J.Y. Ying. A general phase-transfer protocol for metal ions and its application in nanocrystal synthesis. *Nature materials*. **2009**. Vol.8. No.8. P.683-689. DOI: 10.1038/nmat2490
- [8] S.I. Sadovnikov, A.I. Gusev. Recent progress in nanostructured silver sulfide: from synthesis and nonstoichiometry to properties. *J. Mater. Chem. A*. **2017**. Vol.5. No.34. P.17676-17704. DOI: 10.1039/C7TA04949H
- [9] M.N. Kozicki, M. Yun, S.J. Yang, J.P. Aberouette, J.P. Bird. Nanoscale effects in devices based on chalcogenide solid solutions. *Superlattices and Microstructures*. **2000**. Vol.27. No.5-6. P.485-488. DOI: 10.1006/spmi.2000.0827
- [10] G. Henriksson, U. Germgård, M.E. Lindström. A review on chemical mechanisms of kraft pulping. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. **2024**. Vol.39. No.3. P.297-311. DOI: 10.1515/npprj-2023-0015
- [11] J. Font, J. Gutiérrez, J. Lalueza, X. Pérez. Determination of sulfide in the leather industry by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*. **1996**. Vol.740. No.1. P.125-132. DOI: 10.1016/0021-9673(96)00098-2
- [12] Горбачев В.В. Полупроводниковые соединения АІВVI. *Москва: Металлургия*. **1980**. 132с. [V.V. Gorbachev. Semiconductor compounds AIBVI. *Moscow: Metallurgy*. **1980**. 132p. (Russian)]
- [13] Маскаева Л.Н., Берг И.А., Марков В.Ф., Берг Н.В. Гидрохимическое осаждение пленок Cu₂S тиосульфатом натрия. *Бутлеровские сообщения*. **2018**. Т.53. №3. С.97-104. ROI: bc-01/18-53-3-97 [Larisa N. Maskaeva, Irina A. Berg, Vyacheslav F. Markov, Nikolay V. Berg. Hydrochemical deposition Cu₂S films by sodium thiosulfate. *Butlerov Communications*. **2018**. Vol.53. No.3. P.97-104. ROI: bc-01/18-53-3-97 (Russian)]
- [14] Лысанова М.А., Маскаева Л.Н., Поздин А.В., Марков В.Ф. Фотокаталитическое разложение метиленового синего при участии тонкопленочного сульфида меди(II). *Бутлеровские сообщения*. **2023**. Т.73. №2. С.92-101. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-73-2-9 [Maria A. Lysanova, Larisa N. Maskaeva, Andrey V. Pozdin, Vyacheslav F. Markov. Copper(II) sulfide thin film-based methylene blue photocatalytic degradation. *Butlerov Communications A*. **2023**. Vol.5. No.1. Id.9. DOI: 10.37952/ROI-jbc-A/23-5-1-9. (Russian)]
- [15] Поздин А.В., Пястолова А.В., Маскаева Л.Н., Марков В.Ф. Химическое осаждение и сенсорные свойства пленок в системе PbS – CuS. *Бутлеровские сообщения*. **2022**. Т.69. №2. С.59-68. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/22-69-2-59 [Andrey V. Pozdin, Anastasia V. Pyastolova, Larisa N. Maskaeva, Vyacheslav F. Markov. Chemical deposition and sensor properties of films in the PbS – CuS system. *Butlerov Communications B*. **2022**. Vol.3. No.1. Id.12. DOI: 10.37952/ROI-jbc-B/22-3-1-12]
- [16] Беляев А.П., Антипов В.В. Синтез пленок сульфида кадмия при отрицательных температурах. *Бутлеровские сообщения*. **2023**. Т.76. №10. С.55-59. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-76-10-55 [Alexey P. Belyaev, Vladimir V. Antipov. Synthesis of cadmium sulfide films at subzero temperatures. *Butlerov Communications B*. **2023**. Vol.6. No.4. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-76-10-55/ROI-jbc-B/23-6-4-2]
- [17] Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Ильясова Р.Р., Мустафин А.Г. Химическое осаждение наночастиц серы в водно-органических средах. *Бутлеровские сообщения С*. **2023**. Т.75. №8. С.48-59. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/23-75-8-48 [Ismail A. Massalimov, Bulat S. Akhmetshin, Burkhan I. Massalimov, Rimma R. Ilyasova, Akhat G. Mustafin. Chemical deposition of sulfur nanoparticles in aqueous-organic media. *Butlerov Communications C*. **2023**. Vol.6. No.3. Id.7. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/23-6-3-7]
- [18] Мельников Н.Н., Новожилов К.В., Пылова Т.Н. Химические средства защиты растений. *Москва: Химия*. **1980**. 287с. [N.N. Melnikov, K.V. Novozhilov, T.N. Pylova. Chemical plant protection products. *Moscow: Chemistry*. **1980**. 287p. (Russian)]
- [19] Садовников С.И., Ремпель А.А., Гусев А.И. Наноструктурированный сульфид серебра: синтез разных форм и применение. *Успехи химии*. **2018**. Т.87. №4. С.303-327. DOI: 10.1070/RCR4803 [S.I. Sadovnikov, A.A. Rempel, A.I. Gusev. Nanostructured silver sulfide: synthesis of different forms and application. *Russian Chemical Reviews*. **2018**. Vol.87. No.4. P.303-327. DOI: 10.1070/RCR4803 (Russian)]

- [20] Бусев А.И., Симонова Л.Н. Аналитическая химия серы. Москва: Наука. **1975**. 272с. [A.I. Busev, L.N. Simonova. Analytical chemistry of sulfur. Moscow: Science. **1975**. 272p. (Russian)]
- [21] Z. Pawlak, A.S. Pawlak. Modification of iodometric determination of total and reactive sulfide in environmental samples. *Talanta*. **1999**. Vol.48. No.2. P.347-353. DOI: 10.1016/S0039-9140(98)00253-7.
- [22] Колотилина Н.К., Долгонос А.М. Ионохроматографический метод определения боратов и сульфидов с использованием проявительной колонки. *Журнал аналитической химии*. **2005**. Т.60. №8. С.832-836. [N.K. Kolotilina, A.M. Dolgonosov. Ion chromatographic method for the determination of borates and sulfides using a developing column. *Journal of Analytical Chemistry*. **2005**. Vol.60. No.8. P.832-836 (Russian)]
- [23] Лейтес Е.А., Анисимова Л., Катюхин В.Е. Определение органических сульфидов методом инверсионной вольтамперометрии. *Известия Алтайского государственного университета*. **1998**. №1. С.82-84. [E.A. Leites, L. Anisimova, V.E. Katyukhin. Determination of organic sulfides by stripping voltammetry. *Bulletin of the Altai State University*. **1998**. No.1. P.82-84. (Russian)]
- [24] Витенберг А.Г., Коваленко О.Г., Тома В.И., Добряков Ю.Г. Газохроматографическое определение летучих серосодержащих примесей в промышленных выбросах и водных средах. *Журнал аналитической химии*. **2007**. Т.62. №9. С.948-959. [A.G. Vitenberg, O.G. Kovalenko, V.I. Toma, Yu.G. Dobryakov. Gas chromatographic determination of volatile sulfur-containing impurities in industrial emissions and aqueous environments. *Journal of Analytical Chemistry*. **2007**. Vol.62. No.9. P.948-959. (Russian)]
- [25] S. Nathan, J.D. Lawrence, R.G. Compton. Analytical Strategies for the Detection of Sulfide: A Review. *Talanta*. **2000**. Vol.52. No.5. P.771-784.
- [26] A. Punta, F.J. Barragan, M. Ternero, A. Guiraum. Spectrofluorimetric determination of sulphide in natural and wastewaters with 1, 2-naphthoquinone-4-sulphonate. *Analyst*. **1990**. Vol.115. No.11. P.1499-1503.
- [27] Хабаров Ю.Г., Вяткин Н.А. Фотометрическое определение сульфид ионов. *Бутлеровские сообщения*. **2024**. Т.79. №8. С.79-83. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-79-8-79 [Yury G. Khabarov, Nikolay A. Vyatkin. Photometric determination of sulfide ions. *Butlerov Communications B*. **2024**. Vol.8. No.3. Id.5. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-79-8-79/ROI-jbc-B/24-8-3-5 (Russian)]
- [28] T. Koh, Y. Miura, N. Yamamuro, T. Takaki. Spectrophotometric determination of trace amounts of sulphide and hydrogen sulphide by formation of thiocyanate. *The Analyst*. **1990**. Vol.115. No.8. P.1133-1137. DOI: 10.1039/AN9901501133
- [29] Патент РФ 2489419. Цветореагент для определения сульфид-ионов. Ю.Г. Хабаров, Д.Е. Лахманов. Бюл. **2013**. №22. [Patent RU 2489419. Color reagent for determining sulfide ions. Yu.G. Khabarov, D.E. Lakhmanov Publ.: 10.08.2013. (Russian)]
- [30] Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Плахин В.А., Скрипников Е.А., Овчинников Д.В. Нитрозирование лигносульфонатов в условиях твердофазного катализа. *Изв. вузов. Лесн. журн*. **2024**. №3. С.175-187. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-3-175-187 [Yu.G. Khabarov, V.A. Veshnyakov, V.A. Plakhin, E.A. Skripnikov. Nitrosation of Lignosulfonates under Solid-Phase Catalysis Conditions. *Lesnoy Zhurnal [Forestry Journal]*. **2024**. No.3. P.175-187. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-3-175-187 (Russian)]
- [31] Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Химия. **1979**. 480с. [Yu.Yu. Lurye. Handbook of Analytical Chemistry. 5th ed., revised and enlarged. Moscow: Chemistry. **1979**. 480p. (Russian)]
- [32] Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии: учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд. Москва: Издательский центр «Академия». **2007**. 240с. [Summ B.D. Fundamentals of colloid chemistry: textbook. Manual for students of higher educational institutions. 2nd ed. Moscow: Publishing Center "Academy". **2007**. 240p. (Russian)]
- [33] Евстигнеев Э.И. Проблемы валоризации лигнина (обзор). *Химия растительного сырья*. **2022**. №1. С.11-33. DOI: 10.14258/jcpim.2022019211 [Evstigneev E.I. Problems of lignin valorization (review). *Chemistry of Plant Raw Materials*. **2022**. No.1. P.11-33. DOI: 10.14258/jcpim.2022019211 (Russian)]
- [34] G. Milczarek, M. Motylenko, A. Modrzejewska-Sikorska, Ł. Klapiszewski, M. Wysokowski, V.V. Bazhenov, T. Jesionowski. Deposition of silver nanoparticles on organically-modified silica in the presence of lignosulfonate. *RSC Advances*. **2014**. Vol.4. No.94. P.52476-52484. DOI: 10.1039/C4RA08418G
- [35] Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Кузяков Н.Ю. Получение и применение комплексов лигносульфоновых кислот с катионами железа. *Лесной журнал*. **2019**. №5. С.167-187. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.167 [Yu.G. Khabarov, V.A. Veshnyakov, N.Yu. Kuzyakov. Preparation and application of complexes of lignosulfonic acids with iron cations. *Lesnoy Zhurnal [Forestry Journal]*. **2019**. No.5. P.167-187. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.167 (Russian)]
- [36] Yury G. Khabarov, Evgeny A. Skripnikov, Viacheslav A. Veshnyakov, Vadim A. Plakhin. Photometric determination of sulfide ions. *Butlerov Communications A*. **2026**. Vol.12. No.1. Id.12. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-3-65/ROI-jbc-A/26-12-1-12

Полная исследовательская публикация Скрипников Е.А., Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Плахин В.А.
[37] Скрипников Е.А., Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Плахин В.А. Фотометрическое определение сульфид ионов в растворах. *Бутлеровские сообщения А.* 2026. Т.12. №1. Id.12. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-3-65/ROI-jbc-RA/26-12-1-12

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-A/26-12-1-12

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-3-65/ROI-jbc-A/26-12-1-12

Photometric determination of sulfide ions

Yury G. Khabarov,*⁺ Evgeny A. Skripnikov, Viacheslav A. Veshnyakov, Vadim A. Plakhin
Northern (Arctic) Federal University Named after M.V. Lomonosov. Northern Dvina Embankment, 17. Arkhangelsk, 163002. Russia. Phone: +7 (818) 221-61-43. E-mail: khabarov.yu@mail.ru

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: modified lignosulfonic acids, nitrosolignosulfonic acids, sodium sulfide, photometry, photometric reaction, spectrophotometry.

Abstract

Sulfides are compounds widely used in chemical, pulp and paper, metalworking, and analytical chemistry industries, as well as in the production of non-ferrous metals, polymers, dyes, pigments, and sulfuric acid. Hydrogen sulfide and some other sulfides are toxic substances that exert a negative impact when released into the environment. Therefore, the determination of hydrogen sulfide and sulfides is important. This article presents the results of developing a photometric method for the determination of sulfide ions in aqueous solutions. It is proposed to use an aqueous solution of copper(II) sulfate as a color reagent. When the color reagent interacts with sodium sulfide, a black precipitate (copper sulfide) is formed, which makes it impossible to directly use this reaction for photometry. To solve this problem, it has been proposed to use nitrated lignosulfonic acids, which act as a stabilizer, preventing coagulation and sedimentation. Color of the solution changes during this reaction. Experiments showed that the interaction between sulfide ions and Cu(II) cations in the presence of nitrated lignosulfonic acids occurs as a rapid photometric reaction at room temperature. In the ultraviolet spectral region, Beer-Lambert's law is obeyed for sulfide ion concentrations from 0 to 12 mg (S²⁻)/l and from 12 to 62 mg (S²⁻)/l in the visible region. The value of the optical density of the solution formed during the photometric reaction is stable for at least 8 minutes, and the measurements at 280 nm remain stable for no less than 5 hours. The photometric reaction is highly reproducible, with a coefficient of variation not exceeding 5% at studied wavelengths. The concentration determination accuracy for sulfide ions using the developed method was 101-106% in the UV region and 100-112% in the visible region.