

Научная статья
УДК 547.06+662.765.063.4
EDN:RIHDQY
DOI: 10.21285/achb.934



Синтез 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия и исследование его флотационных свойств

Т.Х. Сахабутдинова*, Н.В. Вчисло**, Е.А. Верочкина**,
В.Г. Федосеева**, А.Е. Бурдонов*, И.Б. Розенцвейг***

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Российская Федерация

**Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Российская Федерация

***Иркутский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация

Аннотация. Разработка и выбор подходящего реагента для эффективной флотации имеет важное значение в процессе обогащения руд. Дитиокарбаматы представляют класс органических соединений, которые широко используются в качестве реагентов-собирателей при флотации руд. В работе проведен аналитический обзор по методам получения данного класса соединений. Зафиксировано, что основным методом получения солей дитиокарбаматов является взаимодействие первичных или вторичных аминов с сероуглеродом (CS_2) в присутствии гидроксида калия или натрия. Основной целью работы являлся синтез 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия и исследование его флотационных свойств при обогащении золотосодержащих сульфидных руд. Коллективом авторов был предложен простой и эффективный метод синтеза 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия, подтверждено его строение с использованием физико-химических методов (инфракрасная спектроскопия, спектроскопия ядерного магнитного резонанса 1H , ^{13}C). В результате комплекса исследований было установлено, что совместное использование бутилового ксантогената калия и диалкилдитиофосфата натрия (БТФ-1552) с 1,3-пропанбис(дитиокарбаматом) натрия приводит к повышению эффективности извлечения целевого компонента до 81,63% и увеличению его содержания в концентрате до 7 г/т. Также было показано, что комбинация 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия с бутиловым ксантогенатом калия позволяет достичь эффективности извлечения 80,51% и содержания ценного компонента в концентрате до 6,5 г/т при низком содержании золота в хвостах флотации 0,07 г/т. Предложенный метод синтеза и результаты флотационных испытаний золотосодержащей руды представляют интерес для дальнейших исследований в области органического синтеза и практического применения.

Ключевые слова: флотация, флотационные реагенты, дитиокарбаматы, синтез, золото

Для цитирования: Сахабутдинова Т.Х., Вчисло Н.В., Верочкина Е.А., Федосеева В.Г., Бурдонов А.Е., Розенцвейг И.Б. Синтез 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия и исследование его флотационных свойств // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 3. С. 436–443. DOI: 10.21285/achb.934. EDN: RIHDQY.

BRIEF COMMUNICATION

Original article

Synthesis of sodium 1,3-propanebis(dithiocarbamate) and study of its flotation properties

Tatiana Kh. Sakhabutdinova*✉, Nadezhda V. Vchislo**, Ekaterina A. Verochkina**,
Victoria G. Fedoseeva**, Aleksandr E. Burdonov*, Igor B. Rozentsveig****

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

**A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

***Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. Development and selection of a suitable reagent for efficient flotation is of great importance for ore beneficiation processes. Dithiocarbamates represent a class of organic compounds that are widely used as reagent-collectors in ore flotation. In this work, we conducted an analytical review of the methods currently used for obtaining this class of compounds and established the main method for obtaining dithiocarbamate salts to be the interaction of primary or secondary amines with carbon disulfide (CS_2) in the presence of potassium or sodium hydroxide. The aim of the reviewed work was to synthesize sodium 1,3-propanebis(dithiocarbamate), as well as to study its flotation properties in the beneficiation of gold-bearing sulfide ores. A simple and effective method for sodium 1,3-propanebis(dithiocarbamate) synthesizing was proposed. Its structure was confirmed using physicochemical methods (infrared spectroscopy, ^1H , ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy). A set of studies found that the combined use of potassium butyl xanthate and sodium dialkyl dithiophosphate (BTF-1552) with sodium 1,3-propanebis(dithiocarbamate) led an increase in the efficiency of extraction of the target component of up to 81.63%, as well as an increase in its content in the concentrate of up to 7 g/t. In addition, the combination of sodium 1,3-propanebis(dithiocarbamate) with potassium butyl xanthate was shown to enable an extraction efficiency of 80.51%, as well as a valuable component content in the concentrate of up to 6.5 g/t with a low gold content in flotation tailings of 0.07 g/t. The proposed synthesis method and the results of flotation tests of gold-bearing ores are of interest for further research in the field of organic synthesis and practical application.

Keywords: flotation, flotation reagents, dithiocarbamates, synthesis, gold

For citation: Sakhabutdinova T.Kh., Vchislo N.V., Verochkina E.A., Fedoseeva V.G., Burdonov A.E., Rozentsveig I.B. Synthesis of sodium 1,3-propanebis(dithiocarbamate) and study of its flotation properties. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(3):436-443. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.934. EDN: RIHDQY.

ВВЕДЕНИЕ

Дитиокарбаматы представляют собой важный класс органических соединений и широко используются в промышленности и сельском хозяйстве, а также для получения лекарств и материалов [1–7]. Такие производные имеют обширный спектр биологической активности (рис. 1), например, противовирусную (SARS-CoV-2), противоопухолевую, противогрибковую активность и др. [8–15]. Фрагмент молекулы дитиокарбамата входит в состав известного лекарства Disulfiram (Antabuse), а также его метаболита Diethyldithiocarbamate, которые успешно применяют при лечении алкогольной зависимости [16, 17]. Это делает дитиокарбаматы важными прекурсорами при разработке новых лекарственных препаратов и привлекает внимание химиков-органиков.

Основным методом получения солей дитиокарбаматов является взаимодействие первичных или вторичных аминов с сероуглеродом (CS_2) в присутствии гидроксида калия или натрия¹. Известно, что сульф-

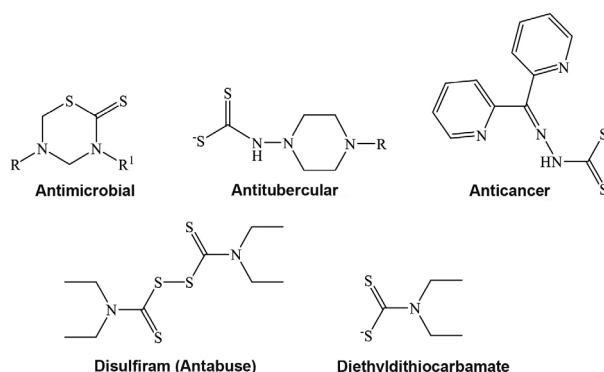


Рис. 1. Схема биологически активных соединений с фрагментом дитиокарбамата

Fig. 1. Scheme of biologically active compounds with a dithiocarbamate fragment

¹ Schubart R. Dithiocarbamic acid and derivatives // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH, 2000. DOI: 10.1002/14356007.a09_001.

гидрильные фрагменты в составе дитиокарбаматов способствуют флотационному обогащению полезных компонентов сульфидных минералов меди, включая ковеллит, халькопирит и халькоцит [18–20]. Разработка и выбор подходящих реагентов для обрабатываемого материала играют жизненно важную роль для эффективной флотации. В связи с этим поиск новых эффективных флотореагентов является актуальной задачей прикладной органической и элементоорганической химии.

Цель данного исследования состоит в осуществлении простого метода синтеза 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия и исследовании его флотационных свойств при обогащении золотосодержащей руды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Инфракрасный (ИК) спектр записан на спектрометре Bruker IFS 25 (Bruker, Германия) в таблетке KBr. Спектры ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ^1H , ^{13}C зарегистрированы на приборе Bruker DPX-400 (400 и 100 МГц соответственно) в растворах DMSO-d_6 , внутренний стандарт TMS. Элементный анализ выполнен на анализаторе Thermo Finnigan Flash series 1112 (Thermo Fisher Scientific, США). 1,3-Диаминопропан (**1**) и сероуглерод являются коммерчески доступными реагентами.

В исследованиях для проведения флотационных экспериментов использовали лабораторную флотомашину ФМЛ-1 («Механобр-техника», Россия). Машина предназначена для изучения обогатимости различных руд методом пенной флотации с содержанием твердых веществ в пульпе до 40% по массе и крупностью 0,074 мм свыше 50% при pH от 2 до 12. Частота вращения импеллера во время экспериментов – 1500 об/мин. По предварительным исследованиям оптимальный объем камеры составляет 1 л.

Общая методика. К 1,3-диаминопропану (0,5 г, 0,0068 моль) в ацетоне прибавляли одной порцией NaOH (0,544 г, 0,0136 моль) и раствор сероуглерода (1,034 г, 0,0136 моль) в ацетоне по каплям. После прибавления сероуглерода реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре 2 ч. Постепенно целевой продукт выпадал в виде осадка, после фильтрации и сушки которого не требуется дополнительная очистка. Выход 85%, т.пл. 320 °С. ИК-спектр (KBr), ν , см^{-1} : 3435, 3230, 1497, 1295, 1136, 953. Спектр ЯМР ^1H (DMSO-d_6), δ , м.д.: 1,57 м (2H, CH_2), 3,33 м (4H, NCH_2), 3,5 с (2H, NH). Спектр ЯМР ^{13}C (DMSO-d_6), δ , м.д.: 28,5 (CH_2), 43,9 (2NCH $_2$), 214,2 (2C=S). Найдено, %: C – 22,19; H – 2,98; N – 10,40; S – 47,43. $\text{C}_5\text{H}_8\text{Na}_2\text{N}_2\text{S}_4$. Вычислено, %: C – 22,22; H – 2,96; N – 10,37; S – 47,41.

Методика флотационных экспериментов. Подготовленное рудное сырье (навески по 300 г) загружают в литровую камеру, после чего объем доводят водой до установленной отметки на камере флотомашины. Далее включают импеллер и проводят интенсивное перемешивание пульпы в течение 2 мин при частоте вращения около 1500 (25 Гц) об/мин. Флотацию проводили, следуя реагентному режиму, представленному в таблице. Время перемешивания реагентов-собирателей – 3 мин, вспенивателя – 1 мин.

После добавления всех реагентов включается подача воздуха для образования устойчивой пены и запуска пеносъемника. Время флотации в каждом эксперименте установлено равным 10 мин. В результате получали 2 продукта – концентрат и хвосты. Продукты флотации высушивают, взвешивают, а затем направляют в аналитическую лабораторию для определения в них содержания золота. Определение концентрации ценного компонента (Au) проводят с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии.

Основные результаты проведенной работы были получены с использованием оборудования Байкальского аналитического центра коллективного пользования Иркутского института химии им. А. Е. Фаворского СО РАН (г. Иркутск, Россия).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящей работе синтез 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия (**2**) осуществляли в среде ацетона при комнатной температуре с выходом 85% (рис. 2). Ранее в литературе был получен 1,3-пропанбис(дитиокарбамат) калия с выходом всего лишь 10% в воде за 15 ч [21]. Нами эта реакция проведена за 2 ч, что значительно ускорило процесс. 1,3-Пропанбис(дитиокарбамат) натрия выделяется из реакционной смеси в виде бежевого кристаллического осадка, который после окончания реакции отфильтровывали, промывали ацетоном и высушивали.

Строение 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия доказано данными элементного анализа и методом ЯМР. Так, в спектрах ЯМР ^{13}C (DMSO-d_6) наблюдается появление характерного сигнала углерода S-C=S в районе 214 м.д. Для сравнения, в исходном сероуглероде сигнал C=S имеет химический сдвиг 192 м.д.

Продолжая исследовательские работы с целью построения новых поверхностно-активных веществ, полученное соединение **2** было испытано нами в лаборатории флотации и флотационных реагентов как собиратель при флотации золотосодержащей сульфидной руды (см. таблицу).

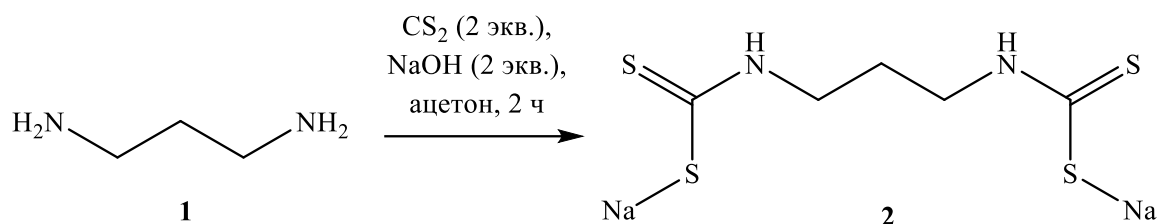


Рис. 2. Схема синтеза 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия (**2**)

Fig. 2. Synthesis of sodium 1,3-propanebis(dithiocarbamate) (**2**)

Результаты проведения флотации золотосодержащей сульфидной руды

Results of flotation of gold-bearing sulphide ore

Номер опыта	Продукт	Выход продукта, %	Содержание Au, г/т	Извлечение, %	Используемые реагенты, г/т			
					БКК	БТФ-1552	МИБК	Соединение 2
1	Концентрат	3,5	7,79	80,14	100	65	30	–
	Хвосты	96,5	0,07	19,86				
2	Концентрат	4,26	6,50	80,51	100	–	30	10
	Хвосты	95,74	0,07	19,49				
3	Концентрат	5,17	4,30	70,10	–	65	30	10
	Хвосты	94,83	0,10	29,90				
4	Концентрат	4,26	7,00	81,63	100	65	30	10
	Хвосты	95,74	0,07	18,37				
5	Концентрат	2,13	2,10	14,47	–	–	30	10
	Хвосты	97,87	0,27	85,53				

Примечание. БКК – бутиловый ксантогенат калия (собиратель); БТФ-1552 – диалкилдитиофосфат натрия (собиратель); МИБК – метилизобутиленкарбинол (пенообразователь).

Флотационные испытания с применением метилизобутиленкарбинола в качестве пенообразователя, собирателей бутилового ксантогената калия и диалкилдитиофосфата натрия (БТФ-1552), а также синтезированного нового реагента **2** проведены в лабораторных условиях на золотосодержащей руде с содержанием золота 0,33 г/т. Исходная навеска руды для каждого опыта составила 300 г. Процесс получения золотосодержащего концентрата включал приготовление растворов всех реагентов, измельчение руды до крупности Р80% – 0,074 мм и пенную флотацию.

В результате флотационных экспериментов установлено, что в базовом режиме с применением пенообразователя метилизобутиленкарбинола, смеси собирателей (бутилового ксантогената калия и диалкилдитиофосфата натрия БТФ-1552) извлечение золота в концентрат с содержанием 7,79 г/т составляет 80,14% (опыт 1). При замене одного из базовых собирателей на новый реагент **2** (опыты 2, 3) извлечение золота составляет 80,51 и 70,10% соответственно. Совместное использование стандартных собирателей с дитиокарбаматом **2** увеличило показатель извлечения до 81,63% и повысило содержание ценного компонента в концентрате до 7 г/т (опыт 4). В описанных выше опытах следует обратить внимание на низкое содержание золота в хвостах флотации.

Использование дитиокарбамата **2** в качестве единственного собирателя (опыт 5) снижает процент извлечения золота (14,47%) и его содержание в концентрате (2,13%), что делает данный режим менее эффективным в сравнении с описанными выше вариантами. Можно

утверждать, что применение полученного соединения в качестве самостоятельного реагента-собираателя является экономически нецелесообразным.

Таким образом, наилучшие показатели обогащения достигнуты при совместном использовании реагента **2** с бутиловым ксантогенатом калия и диалкилдитиофосфатом натрия (БТФ-1552) (опыт 4), а также при совместном использовании реагента **2** с бутиловым ксантогенатом калия (опыт 2). Эти данные показывают, что собирательная способность дитиокарбамата **2** является эффективной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложен простой и легкодоступный метод синтеза 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия, приведены доказательства строения с помощью физико-химических методов (ИК спектроскопия, спектроскопия ЯМР ^1H , ^{13}C), а также показаны результаты испытания 1,3-пропанбис(дитиокарбамата) натрия в качестве собирателя при флотации золотосодержащей руды. Получены хорошие результаты, способствующие повышению извлечения золота в коллективный концентрат. 1,3-Пропанбис(дитиокарбамат) натрия и его аналоги представляют собой интересные объекты для дальнейшей работы в области органического синтеза и практического применения. Предполагается проведение комплекса исследований по закреплению композиции собирателей на минеральной поверхности сульфидных минералов и установление механизма взаимодействия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ajiboye T.O., Ajiboye T.T., Marzouki R., Onwudiwe D.C. The versatility in the applications of dithiocarbamates // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, no. 3. P. 1317. DOI: 10.3390/ijms23031317.
2. Kaul L., Süß R., Zannettino A., Richter K. The revival of dithiocarbamates: from pesticides to innovative medical treatments // iScience. 2021. Vol. 24, no. 2. P. 102092. DOI: 10.1016/j.isci.2021.102092.
3. Viola-Rhenals M., Patel K.R., Jaimes-Santamaria L., Wu G., Liu J., Dou Q.P. Recent advances in Antabuse (Disulfiram): the importance of its metal-binding ability to its

anticancer activity // Current Medicinal Chemistry. 2018. Vol. 25, no. 5. P. 506–524. DOI: 10.2174/0929867324666171023161121.

4. Kurian J.K., Peethambaran N.R., Mary K.C., Kuriakose B. Effect of vulcanization systems and antioxidants on discoloration and degradation of natural rubber latex thread under UV radiation // Journal of Applied Polymer Science. 2000. Vol. 78, no. 2. P. 304–310. DOI: 10.1002/1097-4628(20001010)78:2<304::AID-APP100>3.0.CO;2-G.

5. Cvek B., Dvorak Z. Targeting of nuclear factor- κ B and proteasome by dithiocarbamate complexes with metals // *Current Pharmaceutical Design*. 2007. Vol. 13, no. 30. P. 3155–3167. DOI: 10.2174/138161207782110390.
6. Бурдонов А.Е., Вчисло Н.В., Верочкина Е.А., Розенцвейг И.Б. Синтез новых производных ксантогенатов и дитиокарбаматов и их применение в процессах обогащения // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2023. Т. 13. N 2. С. 160–171. DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-2-160-171. EDN: PNMZLC.
7. Campanale C., Triozzi M., Ragonese A., Losacco D., Massarelli C. Dithiocarbamates: properties, methodological approaches and challenges to their control // *Toxics*. 2023. Vol. 11, no. 10. P. 851. DOI: 10.3390/toxics11100851.
8. Bala V., Gupta G., Sharma V.L. Chemical and medicinal versatility of dithiocarbamates: an overview // *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. 2014. Vol. 14, no. 14. P. 1021–1032. DOI: 10.2174/1389557514666141106130146.
9. Duan Y.-C., Zheng Y.-C., Li X.-C., Wang M.-M., Ye X.-W., Guan Y.-Y., et al. Design, synthesis and antiproliferative activity studies of novel 1,2,3-triazole–dithiocarbamate–urea hybrids // *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2013. Vol. 64. P. 99–110. DOI: 10.1016/j.ejmech.2013.03.058.
10. Sheef A.F. A method for maintaining *Phytophthora* in culture to long periods without transfer // *Phytopathology*. 1943. Vol. 33, no. 4. P. 300–332.
11. He X.-Y., Lu L., Qiu J., Zou P., Yu F., Jiang X.-K., et al. Small molecule fusion inhibitors: Design, synthesis and biological evaluation of (Z)-3-(5-(3-benzyl-4-oxo-2-thioxothiazolidinylidene)methyl)-N-(3-carboxy-4-hydroxy)phenyl-2,5-dimethylpyrroles and related derivatives targeting HIV-1 gp41 // *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2013. Vol. 21, no. 23. P. 7539–7548. DOI: 10.1016/j.bmc.2013.04.046.
12. Harrison J.J., Turner R.J., Ceri H. A subpopulation of *Candida albicans* and *Candida tropicalis* biofilm cells are highly tolerant to chelating agents // *FEMS Microbiology Letters*. 2007. Vol. 272, no. 2. P. 172–181. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2007.00745.x.
13. Xu L., Tong J., Wu Y., Zhao S., Lin B.-L. A computational evaluation of targeted oxidation strategy (TOS) for potential inhibition of SARS-CoV-2 by disulfiram and analogues // *Biophysical Chemistry*. 2021. Vol. 276. P. 106610. DOI: 10.1016/j.bpc.2021.106610.
14. Karimov A., Taslimi P., Orujova A., Mammadova K., Kisa D., Farzaliyev V., et al. Design, synthesis, characterization and biological activities of novel S-(acyloxy)butyl-N,N-diethyldithiocarbamate compounds // *Chemistry-Select*. 2023. Vol. 8, no. 18. P. e202300286. DOI: 10.1002/slct.202300286.
15. Trawally M., Demir-Yazıcı K., Dingiş-Birgöl S.İ., Kaya K., Akdemir A., Güzel-Akdemir Ö. Dithiocarbamates and dithiocarbonates containing 6-nitrosaccharin scaffold: Synthesis, antimycobacterial activity and *in silico* target prediction using ensemble docking-based reverse virtual screening // *Journal of Molecular Structure*. 2023. Vol. 1277. P. 134818. DOI: 10.1016/j.molstruc.2022.134818.
16. Soyka M., Roesner S. New pharmacological approaches for the treatment of alcoholism // *Expert Opinion on Pharmacotherapy*. 2006. Vol. 7, no. 17. P. 2341–2353. DOI: 10.1517/14656566.7.17.2341.
17. Singh A.N., Srivastava S., Jainar A.K. Pharmacotherapy of chronic alcoholism: a review // *Drugs of Today*. 1999. Vol. 35, no. 1. P. 27–33. DOI: 10.1358/dot.1999.35.1.522944.
18. Ma X., Hu Y., Zhong H., Wang S., Liu G., Zhao G. A novel surfactant S-benzoyl-N,N-diethyldithiocarbamate synthesis and its flotation performance to galena // *Applied Surface Science*. 2016. Vol. 365. P. 342–351. DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.01.048.
19. Liu S., Liu G., Zhong H., Yang X. The role of HABTC's hydroxamate and dithiocarbamate groups in chalcopryrite flotation // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2017. Vol. 52. P. 359–368. DOI: 10.1016/j.jiec.2017.04.015.
20. Liu S., Dong Y., Xie L., Liu G., Zhong H., Zeng H. Uncovering the hydrophobic mechanism of a novel dithiocarbamate-hydroxamate surfactant towards galena // *Chemical Engineering Science*. 2021. Vol. 245. P. 116765. DOI: 10.1016/j.ces.2021.116765.
21. Katritzky A.R., Tarr R.D., Heilmann S.M., Ras-mussen J.K., Krepski L.R. Synthesis and characterization of poly([3H]-thiazole-2-thione)s // *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*. 1987. Vol. 25, no. 12. P. 3205–3214. DOI: 10.1002/pola.1987.080251203.

REFERENCES

1. Ajiboye T.O., Ajiboye T.T., Marzouki R., Onwudiwe D.C. The versatility in the applications of dithiocarbamates. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(3):1317. DOI: 10.3390/ijms23031317.
2. Kaul L., Süß R., Zannettino A., Richter K. The revival of dithiocarbamates: from pesticides to innovative medical treatments. *iScience*. 2021;24(2):102092. DOI: 10.1016/j.isci.2021.102092.
3. Viola-Rhenals M., Patel K.R., Jaimes-Santamaria L., Wu G., Liu J., Dou Q.P. Recent advances in Antabuse (Disulfiram): the importance of its metal-binding ability to its anticancer activity. *Current Medicinal Chemistry*. 2018;25(5):506–524. DOI: 10.2174/0929867324666171023161121.
4. Kurian J.K., Peethambaran N.R., Mary K.C., Kuriakose B. Effect of vulcanization systems and antioxidants on discoloration and degradation of natural rubber latex thread under UV radiation. *Journal of Applied Polymer Science*. 2000;78(2):304–310. DOI: 10.1002/1097-4628(20001010)78:2<304::AID-APP100>3.0.CO;2-G.
5. Cvek B., Dvorak Z. Targeting of nuclear factor- κ B and proteasome by dithiocarbamate complexes with metals. *Current Pharmaceutical Design*. 2007;13(30):3155–3167. DOI: 10.2174/138161207782110390.
6. Burdonov A.E., Vchislo N.V., Verochkina E.A., Rozentsveig I.B. Synthesis of new dithiocarbamate and xanthate complexes and their application in enrichment processes. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(2):160–171. DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-2-160-171. EDN: PNMZLC.
7. Campanale C., Triozzi M., Ragonese A., Losacco D., Massarelli C. Dithiocarbamates: properties, methodological approaches and challenges to their control. *Toxics*. 2023;11(10):851. DOI: 10.3390/toxics11100851.
8. Bala V., Gupta G., Sharma V.L. Chemical and medicinal versatility of dithiocarbamates: an overview. *Mini-*

Reviews in Medicinal Chemistry. 2014;14(14):1021-1032. DOI: 10.2174/1389557514666141106130146.

9. Duan Y.-C., Zheng Y.-C., Li X.-C., Wang M.-M., Ye X.-W., Guan Y.-Y., et al. Design, synthesis and antiproliferative activity studies of novel 1,2,3-triazole–dithiocarbamate–urea hybrids. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2013;64:99-110. DOI: 10.1016/j.ejmech.2013.03.058.

10. Sheef A.F. A method for maintaining *Phytopomonas sepedonica* in culture to long periods without transfer. *Phytopathology*. 1943;33(4):300-332.

11. He X.-Y., Lu L., Qiu J., Zou P., Yu F., Jiang X.-K., et al. Small molecule fusion inhibitors: Design, synthesis and biological evaluation of (Z)-3-(5-(3-benzyl-4-oxo-2-thioxothiazolidinylidene)methyl)-N-(3-carboxy-4-hydroxy)phenyl-2,5-dimethylpyrroles and related derivatives targeting HIV-1 gp41. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2013;21(23):7539-7548. DOI: 10.1016/j.bmc.2013.04.046.

12. Harrison J.J., Turner R.J., Ceri H. A subpopulation of *Candida albicans* and *Candida tropicalis* biofilm cells are highly tolerant to chelating agents. *FEMS Microbiology Letters*. 2007;272(2):172-181. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2007.00745.x.

13. Xu L., Tong J., Wu Y., Zhao S., Lin B.-L. A computational evaluation of targeted oxidation strategy (TOS) for potential inhibition of SARS-CoV-2 by disulfiram and analogues. *Biophysical Chemistry*. 2021;276:106610. DOI: 10.1016/j.bpc.2021.106610.

14. Karimov A., Taslimi P., Orujova A., Mammadova K., Kisa D., Farzaliyev V., et al. Design, synthesis, characterization and biological activities of novel S-(acyloxy)butyl-N,N-diethyldithiocarbamate compounds. *ChemistrySelect*. 2023;8(18):e202300286. DOI: 10.1002/slct.202300286.

15. Trawally M., Demir-Yazıcı K., Dingiş-Birgül S.İ., Kaya K., Akdemir A., Güzel-Akdemir Ö. Dithiocarbamates

and dithiocarbonates containing 6-nitrosaccharin scaffold: Synthesis, antimycobacterial activity and *in silico* target prediction using ensemble docking-based reverse virtual screening. *Journal of Molecular Structure*. 2023;1277:134818. DOI: 10.1016/j.molstruc.2022.134818.

16. Soyka M., Roesner S. New pharmacological approaches for the treatment of alcoholism. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*. 2006;7(17):2341-2353. DOI: 10.1517/14656566.7.17.2341.

17. Singh A.N., Srivastava S., Jainar A.K. Pharmacotherapy of chronic alcoholism: a review. *Drugs of Today*. 1999;35(1):27-33. DOI: 10.1358/dot.1999.35.1.522944.

18. Ma X., Hu Y., Zhong H., Wang S., Liu G., Zhao G. A novel surfactant S-benzoyl-N,N-diethyldithiocarbamate synthesis and its flotation performance to galena. *Applied Surface Science*. 2016;365:342-351. DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.01.048.

19. Liu S., Liu G., Zhong H., Yang X. The role of HABTC's hydroxamate and dithiocarbamate groups in chalcopyrite flotation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2017;52:359-368. DOI: 10.1016/j.jiec.2017.04.015.

20. Liu S., Dong Y., Xie L., Liu G., Zhong H., Zeng H. Uncovering the hydrophobic mechanism of a novel dithiocarbamate-hydroxamate surfactant towards galena. *Chemical Engineering Science*. 2021;245:116765. DOI: 10.1016/j.ces.2021.116765.

21. Katritzky A.R., Tarr R.D., Heilmann S.M., Rasmussen J.K., Krepski L.R. Synthesis and characterization of poly([3H]-thiazole-2-thione)s. *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*. 1987;25(12):3205-3214. DOI: 10.1002/pola.1987.080251203.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сахабутдинова Татьяна Хамитовна,
инженер-исследователь,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
✉ statyana411@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-3872-0572>

Вчисло Надежда Викторовна,
к.х.н., научный сотрудник,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
vchislo@irioc.irk.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1921-0257>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatiana Kh. Sakhabutdinova,
Research Engineer,
Irkutsk National Research
Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
✉ statyana411@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-3872-0572>

Nadezhda V. Vchislo,
Cand. Sci. (Chemistry), Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
vchislo@irioc.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1921-0257>

Верочкина Екатерина Александровна,
к.х.н., научный сотрудник,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
kleptsova84@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4907-5612>

Федосеева Виктория Германовна,
научный сотрудник,
Иркутский институт химии им.
А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
vic_yol@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5293-5316>

Бурдонов Александр Евгеньевич,
к.т.н., доцент, доцент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
burdonovae@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5356-0349>

Розенцвейг Игорь Борисович,
д.х.н., доцент,
заведующий лабораторией,
заместитель директора по научной работе,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
профессор,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
i_roz@irioch.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7817-7816>

Вклад авторов

Т.Х. Сахабутдинова – проведение экспериментов, обработка полученных данных, осуществление расчетов, написание текста статьи.
Н.В. Вчисло – проведение экспериментов, написание текста статьи, обработка полученных данных, работа с литературой.
Е.А. Верочкина – проведение экспериментов, работа с литературой.
В.Г. Федосеева – проведение экспериментов, работа с литературой.
А.Е. Бурдонов – разработка концепции исследования, написание текста статьи, анализ и обобщение результатов исследования.
И.Б. Розенцвейг – разработка концепции исследования.

Ekaterina A. Verochkina,
Cand. Sci. (Chemistry), Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
kleptsova84@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4907-5612>

Victoria G. Fedoseeva,
Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
vic_yol@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5293-5316>

Aleksandr E. Burdonov,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor,
Irkutsk National Research
Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
burdonovae@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5356-0349>

Igor B. Rozentsveig,
Dr. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Head of the Laboratory,
Deputy Director for Research,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
Professor,
Irkutsk State University
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
i_roz@irioch.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7817-7816>

Contribution of the authors

Tatiana Kh. Sakhabutdinova – conducting experiments, data processing, calculations, writing the text of manuscript.
Nadezhda V. Vchislo – conducting experiments, writing the text of manuscript, data processing, literature review.
Ekaterina A. Verochkina – conducting experiments, literature review.
Victoria G. Fedoseeva – conducting experiments, literature review.
Aleksandr E. Burdonov – research concept development, writing the text of manuscript, results analysis and generalization.
Igor B. Rozentsveig – research concept development.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Поступила в редакцию 01.08.2024.
Одобрена после рецензирования 27.08.2024.
Принята к публикации 30.08.2024.

Information about the article

The article was submitted 01.08.2024.
Approved after reviewing 27.08.2024.
Accepted for publication 30.08.2024.