



Синтез, строение и биологическая активность моно- и бис-1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олятов натрия, цинка и магния

Е.А. Кунавина✉, А.Н. Сизенцов, А.М. Брежнев, Д.С. Воронкова

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

Аннотация. Поиск новых биологически активных соединений является ключевым направлением химической науки, в связи с чем представляется актуальным синтез соединений с потенциально возможным бактерицидным действием. С целью расширения рядов биологически активных веществ конденсацией Клайзена эквимольных количеств 2-ацетонафтона и диалкилоксалатов в неполярной среде в присутствии натрия в качестве конденсирующего агента осуществлен синтез 4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-1-этокси-2-бутен-2-олята натрия и 1-бутокс-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олята натрия. Реакцией металлообмена натриевых оксоенолятов с солями Zn(II) и Mg(II) получены бидентатные моноядерные металлохелаты. Строение синтезированных соединений подтверждено методами инфракрасной спектроскопии, спектроскопии ядерного магнитного резонанса (^1H , ^{13}C) и масс-спектрометрии. В инфракрасных спектрах твердых образцов оксоенолятов натрия и металлокомплексов присутствуют полосы валентных колебаний сложноэфирных карбонильных групп, скелетных колебаний ароматических колец, а также «эфирные» полосы, обусловленные колебанием связей C–O–C. Спектры ядерного магнитного резонанса ^1H и ^{13}C , записанные в CDCl_3 и $\text{DMCO}-d_6$, характеризуются полным набором всех ожидаемых сигналов с хорошо сопоставимыми со справочными данными значениями химических сдвигов. В масс-спектрах анализируемых соединений, зарегистрированных в растворе ацетонитрила в режиме электрораспыления, наблюдаются сигналы протонированных и катионированных молекул $[\text{M}+\text{H}]^+$ и $[\text{M}+\text{Na}]^+$. Оценка бактерицидного действия синтезированных препаратов проводили с использованием диффузионного метода агаровых лунок в комбинации с методом серийных разведений. Выявлена биологическая активность 4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-1-этокси-2-бутен-2-олята натрия по отношению к *Pseudomonas Aeruginosa* и *Staphylococcus Aureus* и 1-бутокс-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олята натрия по отношению к *Pseudomonas Aeruginosa*. Установлена выраженная резистентность *Salmonella spp.* к исследуемым соединениям.

Ключевые слова: оксоеноляты натрия, металлокомплексы, органический синтез, поликарбонильные соединения, конденсация Клайзена, антимикробная активность

Для цитирования: Кунавина Е.А., Сизенцов А.Н., Брежнев А.М., Воронкова Д.С. Синтез, строение и биологическая активность моно- и бис-1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олятов натрия, цинка и магния // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 3. С. 330–338. DOI: 10.21285/achb.928. EDN: ZXSSHJ.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

Synthesis, structure, and biological activity of sodium, zinc, and magnesium mono- and bis-1-alkoxy-4-(2'-naphthyl)-1,4-dioxo-2-buten-2-olates

Elena A. Kunavina✉, Alexey N. Sizentsov, Andrey M. Brezhnev, Daria S. Voronkova

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

Abstract. The search for new biologically active compounds is a key area of chemical science. Therefore, the synthesis of compounds with a potentially bactericidal effect seems relevant. In order to extend the range of biologically active substances, the synthesis of sodium 4-(2'-naphthyl)-1,4-dioxo-1-ethoxy-2-buten-2-olate and sodium

1-butoxy-4-(2'-naphthyl)-1,4-dioxo-2-buten-2-olate was carried out by Claisen condensation of equimolar amounts of 2-acetonaphthone and dialkyl oxalates in a non-polar medium in the presence of sodium as a condensing agent. Bidentate mononuclear metal chelates were obtained by the metal exchange reaction of sodium oxoenolates with Zn(II) and Mg(II) salts. The structure of the synthesized compounds was confirmed by infrared spectroscopy, (^1H , ^{13}C) nuclear magnetic resonance spectroscopy, and mass spectrometry. The infrared spectra of solid samples of sodium oxoenolates and metal complexes contain bands of stretching vibrations of ester carbonyl groups, skeletal vibrations of aromatic rings, as well as "ether" bands due to vibrations of C–O–C bonds. The ^1H and ^{13}C nuclear magnetic resonance spectra recorded in CDCl_3 and Dimethyl sulfoxide- d_6 are characterized by a complete set of all expected signals with chemical shift values that are well comparable with the reference data. In the mass spectra of the analyzed compounds, recorded in an acetonitrile solution in the electrospray mode, signals of $[\text{M}+\text{H}]^+$ and $[\text{M}+\text{Na}]^+$ protonated and cationized molecules are observed. The bactericidal action of the synthesized preparations was assessed using the agar well diffusion method in combination with the serial dilution method. The biological activity of sodium 4-(2'-naphthyl)-1,4-dioxo-1-ethoxy-2-buten-2-olate against *Pseudomonas Aeruginosa* and *Staphylococcus Aureus*, as well as sodium 1-butoxy-4-(2'-naphthyl)-1,4-dioxo-2-buten-2-olate against *Pseudomonas Aeruginosa*, was revealed. Pronounced resistance of *Salmonella* spp. to the studied compounds was established.

Keywords: sodium oxoenolates, metal complexes, organic synthesis, polycarbonyl compounds, Claisen condensation, antimicrobial activity

For citation: Kunavina E.A., Sizentsov A.N., Brezhnev A.M., Voronkova D.S. Synthesis, structure, and biological activity of sodium, zinc, and magnesium mono- and bis-1-alkoxy-4-(2'-naphthyl)-1,4-dioxo-2-buten-2-olates. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(3):330-338. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.928. EDN: ZXSSHJ.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых направлений органического синтеза выступает создание новых биологически активных соединений. Среди них особое место занимают металлокомплексные соединения, практическая значимость которых обусловлена возможностью применения их в медицине для изготовления фармацевтических препаратов [1–19]. В то же время в современном мире сохраняется тенденция к повышению устойчивости бактериальных штаммов к известным антибиотикам, что обуславливает актуальность поиска веществ с широким спектром биологического действия. Перспективными в силу многофункциональности и практикоориентированного использования являются металлокомплексы с органическими лигандами на основе поликарбонильных систем с сопряженными α - и β -диоксозвеньями, литературные сведения о которых весьма фрагментарны [1, 2, 13, 18, 20–22].

С целью получения веществ, обладающих биологической активностью, нами осуществлен синтез новых оксоенолятов натрия и металлопроизводных на их основе, а также проведены лабораторные испытания по выявлению их противомикробного действия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Инфракрасные (ИК) спектры полученных соединений записаны на ИК-Фурье спектрометре Vertex 70 (Bruker, Германия); приставка нарушенного полного внутреннего отражения, алмазный кристалл. Спектры ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ^1H соединений **1a**, **1b**, **2a** в CDCl_3 , соединения **2b** в $\text{DMSO}-d_6$ и спектры ЯМР ^{13}C соединения **2a** в CDCl_3 , соединения **2b** в $\text{DMSO}-d_6$ получены на ЯМР Фурье-спектрометре Bruker Avance II (Bruker, Германия, 400 МГц), внутренний стандарт – тетраметилсилан. Данные элементного анализа синтезированных соединений соответствуют расчетным значениям. Масс-спектры синтезированных соединений записаны на квадрупольно-времяпролетном масс-спектрометре сверхвысокого разрешения Orbitrap Elite, MicroToF Bruker Daltonics (Bruker Daltonics, Германия) в режиме элек-

трораспылительной ионизации. Протекание реакций контролировали, а индивидуальность полученных веществ подтверждали методом тонкослойной хроматографии на пластинках Silufol UV-254 (Kavalier, Чехия) в системе бензол – диэтиловый эфир – гексан (1:2:3). Хроматограммы проявляли парами йода. Исходные реактивы перед использованием очищали перегонкой.

Синтез 1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олятов натрия (1). Общая методика. К смеси 25 ммоль (4,26 г) 2-ацетонафтона, 25 ммоль соответствующих диалкилоксалатов (диэтилоксалата и дибутилоксалата) и 50–70 мл толуола (растворитель перед использованием перегоняли) добавляли при перемешивании небольшими частями 0,58 г (25 ммоль) натрия. Смесь реагентов оставляли в колбе с воздушным холодильником на 2–4 часа. Растворитель испаряли, полученные натриевые еноляты промывали эфиром. Получали целевые оксоеноляты натрия **1a** и **1b**.

4-(2'-Нафтил)-1,4-диоксо-1-этокси-2-бутен-2-олят натрия (1a). Выход 7,21 г, 98%. Т.пл. 149–151 (разл.) °С. ИК-спектр, ν , см^{-1} (тв.): 3057 $\nu(\text{C}-\text{H}, \text{Ar})$, 2976 $\nu_{\text{as}}(\text{CH}_3)$, 2928 $\nu_{\text{s}}(\text{CH}_3)$, 1705 $\nu(\text{C}=\text{O})$, 1614 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1570 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1510 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1364 $\delta(\text{CH}_3)$, 957 $\delta(\text{CH}_2)$, 777 $\delta(\text{CH}_{\text{Ar}})$. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. (CDCl_3): 1,36 т (3H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_3$, J 7,2 Гц), 4,34 кв (2H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_3$, J 7,3 Гц), 6,77 с (1H, C^3H), 7,55 м (2H, C^6H и C^7H в C_{10}H_7), 7,87 д (3H, $\text{C}^3\text{H}, \text{C}^4\text{H}$ и C^8H в C_{10}H_7), 7,95 д (1H, C^5H в C_{10}H_7 , J 8,6 Гц), 8,45 с (1H, C^1H в C_{10}H_7). Найдено: m/z 293,0786 $[\text{M}+\text{H}]^+$. Вычислено для $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_4\text{Na}^+$: 293,0784.

1-Бутокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олят натрия (1b). Выход 7,83 г, 97%. Т.пл. 110–112 (разл.) °С. ИК-спектр, ν , см^{-1} (тв.): 3057 $\nu(\text{C}-\text{H}, \text{Ar})$, 2958 $\nu_{\text{as}}(\text{CH}_3)$, 2872 $\nu_{\text{s}}(\text{CH}_2)$, 1683 $\nu(\text{C}^{(1)}=\text{O})$, 1616 $\nu(\text{C}^{(4)}=\text{O})$, $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1570, 1510, 1489 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1384 $\delta_{\text{s}}(\text{CH}_3)$, 1249 $\delta_{\text{s}} \text{ крутильн}(\text{CH}_2)$, 1190 $\nu(\text{C}-\text{O}-\text{C})$, 862, 817, 777, 758 $\delta(\text{CH}, \text{Ar})$. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. (CDCl_3): 0,94 т (3H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, J 7,4 Гц), 1,40 м (2H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 1,71 м (2H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 4,28 т (2H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, J 6,8 Гц), 6,84 с (1H, C^3H), 7,56 м (2H, C^6H и C^7H в C_{10}H_7), 7,90 д (3H, $\text{C}^3\text{H}, \text{C}^4\text{H}$ и

^8H в C_{10}H_7), 8,02 д (1H, ^5H в C_{10}H_7 , J 8,6 Гц), 8,45 с (1H, ^1H в C_{10}H_7). Найдено: m/z 321,1095 $[\text{M}+\text{H}]^+$, 343,0910 $[\text{M}+\text{Na}]^+$. Вычислено для $\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{O}_4\text{Na}^+$: 321,1097, для $\text{C}_{18}\text{H}_{17}\text{O}_4\text{Na}_2^+$: 343,0917.

Синтез бис-(1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1-оксо-2,4-бутандионато)металлов(II) (**2**). Общая методика. К раствору 6,0 ммоль натриевого оксоенолята в 50–100 мл воды добавляли при перемешивании раствор 3,0 ммоль сульфата цинка (для синтеза соединения **2a**) или магния (для синтеза соединения **2b**) в 10 мл воды. Через 30 минут выпавший осадок отфильтровывали на воронке Шотта, высушивали на воздухе. Полученные металлохелаты **2a**, **2b** перекристаллизовывали из этилацетата. Получали целевые бис-(4-(2'-нафтил)-1-оксо-1-этоксипутан-2,4-дионато)цинк и бис-(1-бутоксипутан-2,4-дионато)магний.

Бис-(4-(2'-нафтил)-1-оксо-1-этоксипутан-2,4-дионато)цинк (**2a**). Выход 0,8 г, 44%. Т.пл. 114–115 °С. ИК-спектр, ν , см^{-1} (тв.): 1717 $\nu(\text{C}=\text{O})$, 1587 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1568 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1520 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1387 $\nu_{\text{s}}(\text{CH}_3)$, 1423 $\delta_{\text{as}}(\text{CH}_3)$, 1362 $\delta(\text{CH}_3)$, 957 $\delta(\text{CH}_2)$, 777 $\delta(\text{CH}, \text{Ar})$, 756 $\delta(\text{CH}, \text{Ar})$. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. (CDCl_3): 1,44 т (3H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_3$, J 7,4 Гц), 4,42 кв (2H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_3$, J 7,1 Гц), 6,84 с (1H, ^3H), 7,57 м (2H, ^6H и ^7H в C_{10}H_7), 7,92 д (3H, ^3H , ^4H и ^8H в C_{10}H_7), 8,03 д (1H, ^5H в C_{10}H_7 , J 9,0 Гц), 8,46 с (1H, ^1H в C_{10}H_7). Спектр ЯМР ^{13}C с полным подавлением ССВ с протонами, δ , м.д. (CDCl_3): 14,1 ($\text{COOCH}_2\text{CH}_3$), 62,7 ($\text{COOCH}_2\text{CH}_3$), 98,2 (^3H), 123,9 (^3H в C_{10}H_7), 126,7 (^7H в C_{10}H_7), 127,1 (^4H в C_{10}H_7), 127,7 (^5H в C_{10}H_7), 128,4 (^6H в C_{10}H_7), 130,2 (^8H в C_{10}H_7), 132,2 (^8H в C_{10}H_7), 132,5 (^1H в C_{10}H_7), 134,5 (^2H в C_{10}H_7), 135,6 (^4H в C_{10}H_7), 152,5 (C^2), 169,7 ($\text{COOCH}_2\text{CH}_3$), 190,6 ($\text{C}^4=\text{O}$). Найдено: m/z 625,0812 $[\text{M}+\text{Na}]^+$. Вычислено для $\text{C}_{32}\text{H}_{26}\text{O}_8\text{ZnNa}^+$: 625,0811.

Бис-(1-бутоксипутан-2,4-дионато)магний (**2b**). Выход: 1 г, 54%. Т.пл. 142–143 °С. ИК-спектр, ν , см^{-1} (тв.): 3060 $\nu(\text{C}-\text{H}, \text{Ar})$, 2956 $\nu_{\text{as}}(\text{CH}_3)$, 2870 $\nu_{\text{s}}(\text{CH}_2)$, 1724 $\nu(\text{C}=\text{O})$, 1606, 1573, 1514, 1463 $\nu(\text{C}=\text{C}, \text{Ar})$, 1253 $\nu(\text{C}-\text{O}-\text{C})$, 860, 819, 779, 756 $\delta(\text{CH}, \text{Ar})$. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 0,92 т (3H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, J 7,4 Гц), 1,39 м (2H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 1,66 м

(2H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 4,20 т (2H, $\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$, J 6,5 Гц), 6,76 с (1H, ^3H), 7,58 м (2H, ^6H и ^7H в C_{10}H_7), 7,95 д (3H, ^3H , ^4H и ^8H в C_{10}H_7), 8,06 д (1H, ^5H в C_{10}H_7 , J 7,8 Гц), 8,48 с (1H, ^1H в C_{10}H_7). Спектр ЯМР ^{13}C с полным подавлением ССВ с протонами, δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 5,1 ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 16,6 ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 25,9 ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 50,9 ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 80,7 (^3H), 110,4 (^3H в C_{10}H_7), 113,0 (^7H в C_{10}H_7), 113,8 (^4H в C_{10}H_7), 113,9 (^5H в C_{10}H_7), 114,0 (^6H в C_{10}H_7), 114,4 (^8H в C_{10}H_7), 115,6 (^1H в C_{10}H_7), 118,8 (^8H в C_{10}H_7), 120,7 (C^2 в C_{10}H_7), 123,4 (^4H в C_{10}H_7), 152,4 (C^2), 159,0 ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), 172,9 ($\text{C}^4=\text{O}$). Найдено: m/z 619,2297 $[\text{M}+\text{H}]^+$. Вычислено для $\text{C}_{36}\text{H}_{35}\text{O}_8\text{Mg}^+$: 619,2277.

Методика определения антимикробной активности. Исследуемый микроорганизм высевали на стерильный питательный сухой агар на основе гидролизата рыбной муки сплошным «газоном» в объеме 100 мкл суспензии $1 \cdot 10^9$ КОЕ/мл. Пробочным сверлом (диаметром 5 мм) в толще агаризованной среды вырезали лунки в количестве 7 штук на одной чашке Петри (удаление от края чашки Петри 15 мм, расстояние между лунками 30 мм), в которые вносили исследуемые концентрации веществ в объеме 30 мкл для оценки их ингибирующего действия. Культуры бактериальных клеток инкубировали в течение 24 часов при температуре 37 °С с последующей визуальной оценкой влияния исследуемых веществ на рост и морфологию тест-организма. Степень резистентности бактериальных штаммов к исследуемому веществу определяли по ширине диаметрально удаленной задержки роста в миллиметрах.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

1-Алкокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-оляты натрия синтезированы конденсацией 2-ацетонафта на с диалкилоксалатами в присутствии натрия в среде толуола при эквимолярном соотношении реагентов (рис. 1).

Физико-химические свойства полученных оксоенолятов натрия (**1a**, **1b**) приведены в табл. 1.

Реакцией металлообмена в водных растворах натриевых производных (**1a**, **1b**) с солями магния(II) и цинка(II) нами синтезированы металлохелатные комплексы (рис. 2).

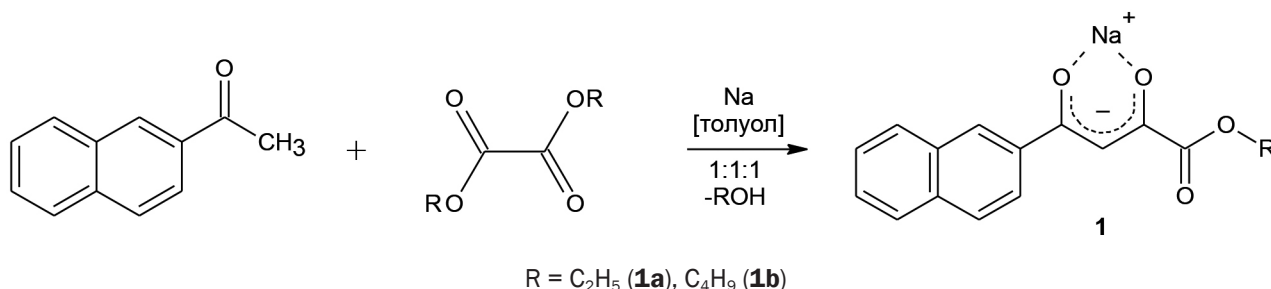


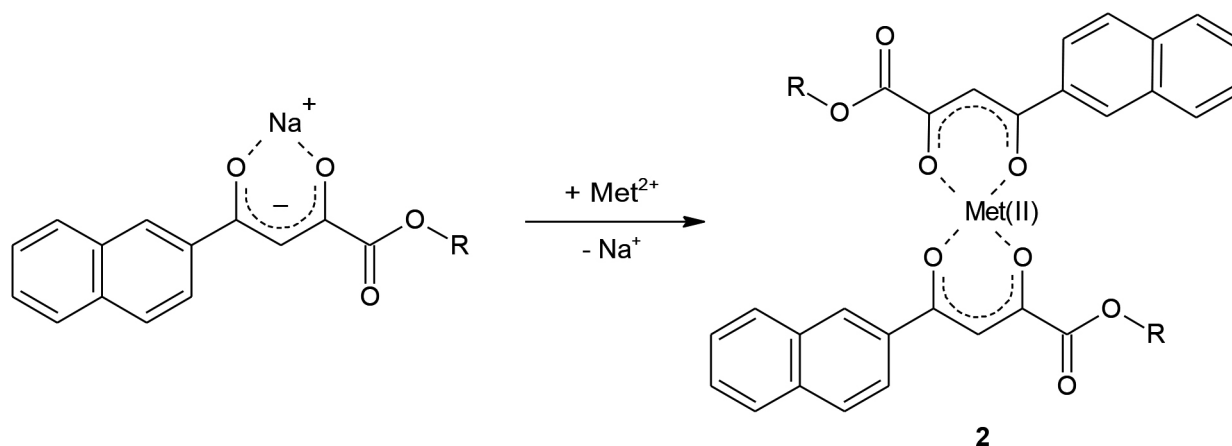
Рис. 1. Схема синтеза 1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олятов натрия (**1**)

Fig. 1. Scheme for the synthesis of sodium 1-alkoxy-4-(2'-naphthyl)-1,4-dioxo-2-butene-2-olates (**1**)

Таблица 1. Характеристики 1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олятов натрия (**1**)

Table 1. Characteristics of sodium 1-alkoxy-4-(2'-naphthyl)-1,4-dioxo-2-butene-2-olates (**1**)

Соединение	R	Брутто-формула	Молекулярная масса, г/моль	Т.пл., °С	Выход, %
1a	C_2H_5	$\text{C}_{16}\text{H}_{13}\text{O}_4\text{Na}$	292	149–151 (разл.)	98
1b	C_4H_9	$\text{C}_{18}\text{H}_{17}\text{O}_4\text{Na}$	320	110–112 (разл.)	97



R = C₂H₅ (**1a**, **2a**), C₄H₉ (**1b**, **2b**), Met(II) = Zn (**2a**), Mg (**2b**)

Рис. 2. Схема синтеза бис-(1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1-оксо-2,4-бутандионато)металлов(II) (**2**)

Fig. 2. Scheme for the synthesis of bis-(1-alkoxy-4-(2'-naphthyl)-1-oxo-2,4-butanedionato)metals(II) (**2**)

Таблица 2. Характеристики бис-(1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1-оксо-2,4-бутандионато)металлов(II) (**2**)

Table 2. Characteristics of bis-(1-alkoxy-4-(2'-naphthyl)-1-oxo-2,4-butanedionato)metals(II) (**2**)

Соединение	R	Met(II)	Брутто-формула	Молекулярная масса, г/моль	Т.пл., °C	Выход, %
2a	C ₂ H ₅	Zn	C ₃₂ H ₂₆ O ₈ Zn	604	114–115	46
2b	C ₄ H ₉	Mg	C ₃₆ H ₃₄ O ₈ Mg	618	142–143	54

Физико-химические свойства металлохелатов (**2a**, **2b**) приведены в табл. 2.

Синтезированные соединения **1a** и **1b** представляют собой твердые вещества желтого цвета. Соединение **1a** хорошо растворимо в хлороформе и трудно растворимо в воде, этаноле, этилацетате, толуоле, диметилсульфоксиде (ДМСО). Соединение **1b** хорошо растворимо в этилацетате, хлороформе и диоксане и трудно растворимо в воде, этаноле, толуоле, ДМСО. Металлокомплекс **2a** представляет собой твердое вещество желто-оранжевого цвета. Металлокомплекс **2b** – твердое вещество бледно-желтого цвета. Соединения **2a** и **2b** не растворимы в воде и трудно растворимы в большинстве органических растворителей.

Строение полученных соединений подтверждено методами ИК, ЯМР ¹H, ¹³C спектроскопии и масс-спектрометрии высокого разрешения [22]. В ИК-спектрах твердых образцов натриевых енолятов **1a** и **1b** присутствуют полосы валентных колебаний сложноэфирной карбонильной группы в области 1683–1705 см⁻¹. В ИК-спектрах бис-(1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1-оксо-2,4-бутандионато)металлов(II) **2a** и **2b**, записанных для образцов в твердом состоянии, имеются полосы поглощения валентных колебаний сложноэфирной карбонильной группы на частотах 1716–1724 см⁻¹. Колебания ароматических колец находятся в области 1463–1606 см⁻¹. Уширенная расщепленная эфирная полоса высокой интенсивности наблюдается при 1253–1278 см⁻¹.

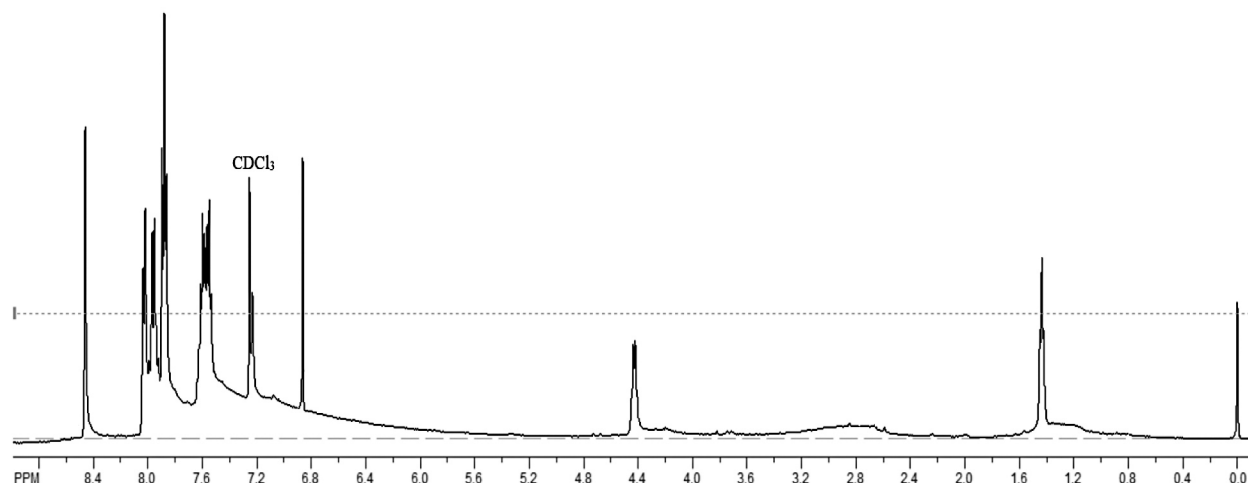


Рис. 3. Спектр ЯМР ¹H (δ, м.д., CDCl₃/тетраметилсилан) бис-(4-(2'-нафтил)-1-оксо-1-этоксипутан-2,4-дионато)цинка (**2a**)

Fig. 3. NMR spectrum of ¹H (δ, ppm, CDCl₃/TMS) bis-(4-(2'-naphthyl)-1-oxo-1-ethoxybutane-2,4-dionato)zinc (**2a**)

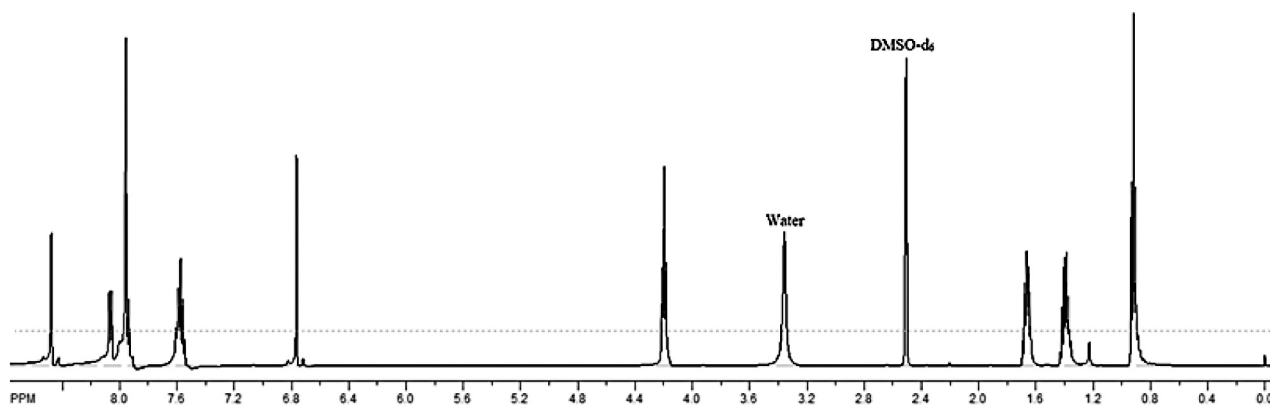


Рис. 4. Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д., CDCl_3 /тетраметилсилан) бис-(1-бutoкси-4-(2'-нафтил)-1-оксobутан-2,4-дионато)магния (**2b**)

Fig. 4. NMR spectrum of ^1H (δ , ppm, CDCl_3 /TMS) bis-(1-butoxy-4-(2-naphthyl)-1-oxobutane-2,4-dionato)magnesium (**2b**)

В спектрах ЯМР ^1H оксоенолятов **1a** и **1b**, записанных в растворе дейтерохлороформа, присутствуют триплетные сигналы метильных групп алкокси-фрагментов при 0,94–1,36 м.д. ($J_{\text{HH}} = 7,2\text{--}7,4$ Гц). Квадруплетный сигнал метиленовой группы этоксифрагмента вещества **1a** наблюдается при 4,34 м.д. ($J_{\text{HH}} = 7,3$ Гц). Мультиплетные сигналы метиленовых групп бutoкси-фрагмента вещества **1b** зарегистрированы при 1,40 м.д. ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) и 1,71 м.д. ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), триплетный сигнал метиленовой группы ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) – при 4,28 м.д. ($J_{\text{HH}} = 6,8$ Гц). Протоны метиновых групп идентифицированы по синглетным сигналам в области 6,77–6,84 м.д. Мультиплетные, дублетные и синглетные сигналы ароматических протонов монозамещенного нафтильного фрагмента зарегистрированы при 7,55–8,45 м.д.

В спектрах ЯМР ^1H (рис. 3, 4) комплексов **2a** и **2b**, записанных в растворах дейтерохлороформа и $\text{DMSO}-d_6$ соответственно, присутствуют триплетные сигналы метильных групп алкокси-фрагментов при 0,92–1,44 м.д. ($J_{\text{HH}} = 7,4$ Гц). Квадруплетный сигнал метиленовой группы этоксифрагмента вещества **2a** зарегистрирован при 4,42 м.д. ($J_{\text{HH}} = 7,1$ Гц). Мультиплетные сигналы метиленовых групп бutoксифрагмента вещества **2b** наблюдаются при 1,39 м.д. ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) и 1,66 м.д. ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$), триплетный сигнал метиленовой группы ($\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) – при 4,20 м.д. ($J_{\text{HH}} = 6,5$ Гц). Синглеты протонов метиновых групп находятся в области 6,76–6,84 м.д. Мультиплетные, дублетные и синглетные

сигналы ароматических протонов нафтильного фрагмента зарегистрированы при 7,57–8,48 м.д.

В спектрах ЯМР ^{13}C металлокомплексов **2a** и **2b**, снятых в растворах дейтерохлороформа и $\text{DMSO}-d_6$ соответственно, в слабopольной области присутствуют сигналы карбонильных атомов углерода: $\text{C}^{(2)}=\text{O}$ при 152,4–152,5 м.д., $\text{C}^{(3)}=\text{O}$ при 159,0–169,7 м.д. и $\text{C}^{(4)}=\text{O}$ при 172,9–190,6 м.д. Сигналы атомов углерода ароматических колец находятся при 110,4–135,6 м.д., наиболее дезэкранированными оказываются атомы, общие для двух циклов ($\text{C}^{4a'}\text{H}$ и $\text{C}^{8a'}\text{H}$ в C_{10}H_7), а также замещенный атом $\text{C}^{2'}$.

В масс-спектрах оксоенолятов **1a**, **1b** и металлокомплексов **2a**, **2b**, записанных в растворе ацетонитрила в режиме электрораспыления, наблюдаются сигналы протонированных и катионированных молекул $[\text{M}+\text{H}]^+$ и $[\text{M}+\text{Na}]^+$.

Прикладной составляющей данной работы явилось изучение противомикробной активности синтезированных соединений **1a** и **1b**. В качестве исследуемых микроорганизмов были выбраны следующие клинические изоляты бактериальных штаммов: *Staphylococcus aureus* – грамположительная кокковая форма микроорганизмов, является факультативным анаэробом, но лучше развивается в аэробных условиях, спор не образует, образует микрокапсулу; *Pseudomonas aeruginosa* – грамотрицательная аэробная палочка, обладает способностью образовывать капсулоподобную

Таблица 3. Результаты исследования биологической активности 1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олятов натрия (**1**)

Table 3. Biological activity of 1-alkoxy-4-(2-naphthyl)-1,4-dioxo-2-butene-2-sodium olates (**1**)

Исследуемые соединения	Концентрация, моль/л				
	0,1	0,05	0,025	0,0125	0,0063
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>					
1a	33,70±0,88	26,70±1,45*	21,30±0,88*	17,00±0,58*	–
1b	25,67±0,88	21,00±1,15*	16,00±1,00*	10,00±0,58**	–
<i>Staphylococcus aureus</i>					
1a	15,30±0,88	13,30±0,33	9,70±0,58*	–	–
1b	–	–	–	–	–
<i>Salmonella</i> spp.					
1a	–	–	–	–	–
1b	–	–	–	–	–

Примечание. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ (расчет t -критерия Стьюдента по отношению к предыдущему разведению).

оболочку, спор не образует, вызывает разнообразные гнойно-воспалительные заболевания; *Salmonella* spp. – граммотрицательная палочка, спор также не образует. Оценку бактерицидного действия проводили с использованием диффузионного метода агаровых лунок в комбинации с методом серийных разведений. Результаты исследования отражены в табл. 3.

Анализируя результаты проведенного эксперимента, можно отметить, что соединение **1a** обладает выраженным бактерицидным действием в отношении двух исследуемых тест-организмов – *P. aeruginosa* и *S. aureus*. Минимальная концентрация, при которой наблюдается подавление роста *P. aeruginosa*, составила 0,0125 моль/л, *S. aureus* – 0,025 моль/л. По мере снижения уровня концентрации исследуемого соединения регистрируется ослабление ингибирующего действия на тест-организмы. В отношении *Salmonella* spp. изучаемое соединение не проявляет бактерицидного действия.

Соединение **1b** обладает выраженным бактерицидным действием в отношении только одного исследуемого тест-организма – *P. aeruginosa*. Минимальная ингибирующая рост концентрация для данного микроор-

ганизма составила 0,0125 моль/л. По мере снижения концентрации исследуемого соединения регистрируется снижение бактерицидных характеристик в отношении тест-организма. *S. aureus* и *Salmonella* spp. проявляют выраженную резистентность к соединению **1b**.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, конденсацией Клайзена 2-ацетонафта с диалкилоксалатами в присутствии конденсирующего реагента нами получены новые 1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-оляты натрия. В ходе реакции металлообмена оксоенолятов натрия с ионами цинка и магния выделены для дальнейших прикладных исследований ранее не описанные бис-(1-алкокси-4-(2'-нафтил)-1-оксо-2,4-бутандионато)металлы(II). Структура синтезированных соединений подтверждена с использованием спектральных методов анализа. Выявлена биологическая активность 4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-1-этокси-2-бутен-2-олята натрия по отношению к *P. Aeruginosa* и *S. Aureus* и 1-бутокси-4-(2'-нафтил)-1,4-диоксо-2-бутен-2-олята натрия по отношению к *P. Aeruginosa*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Maurin C., Bailly F., Cotel P. Improved preparation and structural investigation of 4-aryl-4-oxo-2-hydroxy-2-butenic acids and methyl esters // *Tetrahedron*. 2004. Vol. 60, no. 31. P. 6479–6486. DOI: 10.1016/j.tet.2004.06.030.
2. Пулина Н.А., Собин Ф.В., Краснова А.И. Поиск отечественных фармацевтических субстанций в ряду металлокомплексов на основе (гет)ариламидов 4-арил-2-гидрокси-4-оксо-2-бутеновых кислот // *Координационная химия*. 2023. Т. 49. N 10. С. 644–650. DOI: 10.31857/S0132344X23600182. EDN: TGGNTC.
3. Sajadiyeh E., Tabatabaee M., Seifati S.M., Derikvand Z. Cytotoxic effect of palladium(II) complex with 4-amino-5-methyl-2H-1,2,4-triazole-3(4H)-thione ligand on MCF-7 cell line // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2020. Vol. 54, no. 2. P. 145–147. DOI: 10.1007/s11094-020-02171-5.
4. Baranov V.V., Vikrishchuk N.I., Zubenko A.A., Estrin I.A., Lipatov E.S., Svyatogorova A.E. Synthesis, structure, and biological activity of new metal carboxylate complexes containing a glycoluril fragment // *Russian Journal of General Chemistry*. 2023. Vol. 93, no. 4. P. 863–869. DOI: 10.1134/s1070363223040126.
5. Xue W., Fu X., Zhao G.-Q., Li Q.-B. Zinc(II) complexes derived from schiff bases: Syntheses, structures, and biological activity // *Acta Chimica Slovenica*. 2021. Vol. 68, no. 1. P. 17–24. DOI: 10.17344/acs.2020.5817.
6. Садовская Н.Ю., Глушко В.Н., Блохина Л.И., Ретивов В.М. Биологическая активность краун-эфиров и их металлокомплексов // *Химическая безопасность*. 2020. Т. 4. N 2. С. 80–100. DOI: 10.25514/CHS.2020.2.18006. EDN: TVTEAF.
7. Parshina L.N., Trofimov B.A. Metal complexes with N-alkenylimidazoles: synthesis, structures, and biological activity // *Russian Chemical Bulletin*. 2011. Vol. 6, no. 4. P. 601–614. DOI: 10.1007/s11172-011-0096-9.
8. Ramsis T.M., Ebrahim M.A., Fayed E.A. Synthetic coumarin derivatives with anticoagulation and antiplatelet aggregation inhibitory effects // *Medicinal Chemistry Research*. 2023. Vol. 32, no. 11. P. 2269–2278. DOI: 10.1007/s00044-023-03148-1.
9. Махмудов Р.Р., Никифорова Е.А., Зверев Д.П., Балукина Л.А., Скачков А.П. Синтез и антиноцицептивная активность 2,2'-(1,4-фенилен)бис[3-арил-2-азаспиро[3.5]нонан-1-онов] // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2023. Т. 13. N 4. С. 476–482. DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-476-482. EDN: BXPEAR.
10. Deng C., Mi J., Zhou Y., Li X., Liu Z., Sang Z., et al. Design, synthesis, and biological evaluation of novel 2-acetylphenol-rivastigmine hybrids as potential multifunctional agents for the treatment of Alzheimer's disease // *Medicinal Chemistry Research*. 2022. Vol. 31, no. 5. P. 1035–1048. DOI: 10.1007/s00044-022-02899-7.
11. Shamim S., Gul S., Khan A., Ahmed A., Gul A. Antimicrobial, antifungal and enzymatic profiling of newly synthesized heavy metal complexes of gemifloxacin // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2022. Vol. 55, no. 10. P. 1033–1039. DOI: 10.1007/s11094-021-02534-6.
12. Ukhov S.V., Mikhalev A.I., Boyarshinov V.D., Novikova V.V. Synthesis, properties, and antimicrobial activity of N-aryl-7-hydroxy-2-imino-2H-chromene-3-carboxamides // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2021. Vol. 54, no. 10. P. 1012–1014. DOI: 10.1007/s11094-021-02312-4.
13. Pulina N.A., Kuznetsov A.S., Krasnova A.I., Novikova V.V. Synthesis, antimicrobial activity, and behavioral response effects of N-substituted 4-aryl-2-hydroxy-4-oxobut-2-enoic acid hydrazides and their metal complexes // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2019. Vol. 53, no. 3. P. 220–224. DOI: 10.1007/s11094-019-01983-4.
14. Ulular M., Sari N., Han F., Ögütçü H., Özkan E.H. Synthesis, antimicrobial, and DNA-binding evaluation of novel schiff bases containing tetrazole moiety and their Ni(II) and Pt(II) complexes // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2024. Vol. 57, no. 10. P. 1609–1620. DOI: 10.1007/s11094-024-03056-7.
15. Saroya S., Asija S., Deswal Y., Kumar N., Devi J. Synthesis, characterization, and *in vitro* antimicrobial and antioxidant study of the pentacoordinated organotin(IV) complexes based on acid hydrazide schiff base ligands // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2023. Vol. 57, no. 9. P. 1372–1383. DOI: 10.1007/s11094-023-03000-1.

16. Gulea A.P., Usataia I.S., Graur V.O., Tsapkov V.I., Chumakov Y.M., Petrenko P.A., et al. Synthesis, structure and biological activity of coordination compounds of copper, nickel, cobalt, and iron with ethyl N'-(2-hydroxybenzylidene)-N-prop-2-en-1-ylcarbamohydrazone-thioate // Russian Journal of General Chemistry. 2020. Vol. 90, no. 4. P. 630–639. DOI: 10.1134/S107036322004012X. EDN: GKJZZU.

17. Tkacheva A.R., Sharutin V.V., Sharutina O.K., Shlepotina N.M., Kolesnikov O.L., Shishkova Y.S., et al. Tetravalent platinum complexes: synthesis, structure, and antimicrobial activity // Russian Journal of General Chemistry. 2020. Vol. 90, no. 4. P. 655–659. DOI: 10.1134/S1070363220040155. EDN: AIUONV.

18. Gein V.L., Bobrovskaya O.V., Mashkina E.A., Novikova V.V., Hvolis E.A., Belonogova V.D., et al. Synthesis and antimicrobial activity of methyl (2Z)-4-aryl-2-[4-[(4,6-dimethylpyrimidin-2-yl)sulfamoyl]phenylamino]-4-oxobut-2-enates and their silver salts // Russian Journal of General Chemistry. 2020. Vol. 90, no. 5. P. 822–826. DOI: 10.1134/S1070363220050102. EDN: LLVFFF.

19. Кустова Т.В., Данилова Е.А., Сеницын А.М. Комплексные соединения с марганцем на основе

производных 3,5-диамино-1,2,4-триазола. Синтез и перспективы применения // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2020. Т. 20. N 2. С. 35–44. DOI: 10.18083/LCApl.2020.2.35. EDN: OEZWGO.

20. Kunavina E.A., Sizentsov A.N., Salikova E.V., Rusyaeva M.L., Korol'kova D.S., Koz'minykh V.O. Synthesis, structure, and biological activity of magnesium(II), zinc(II), cobalt(II), and copper(II) bis(4-aryl-1-ethoxy-1-oxobutane-2,4-dionates) // Russian Journal of General Chemistry. 2019. Vol. 89, no. 1. P. 67–70. DOI: 10.1134/S1070363219010122.

21. Кунавина Е.А., Сизенцов А.Н., Левенец Т.В., Саликова Е.В., Королькова Д.С., Козьминных В.О. Синтез, строение и биологическая активность 4-арилзамещенных 1,4-диоксо-1-этокси-2-алкенолятов натрия // Башкирский химический журнал. 2018. Т. 25. N 3. С. 13–16. DOI: 10.17122/bcj-2018-3-13-16. EDN: YAQXQL.

22. Kawai H., Kitano Y., Mutoh M., Hata G. Synthesis, structure and antitumor activity of a new water-soluble platinum complex, (1R,2R-cyclohexanediamine-N,N') [2-hydroxy-4-oxo-2-pentenoato(2-)-O²] platinum(II) // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. 1993. Vol. 4, no. 2. P. 357–361. DOI: 10.1248/cpb.41.357.

REFERENCES

1. Maurin C., Bailly F., Cotel P. Improved preparation and structural investigation of 4-aryl-4-oxo-2-hydroxy-2-butenic acids and methyl esters. *Tetrahedron*. 2004;60(31):6479–6486. DOI: 10.1016/j.tet.2004.06.030.

2. Pulina N.A., Sobin F.V., Krasnova A.I. The search for domestic pharmaceutical substances among metal complexes based on (hetero)arylamides of 4-aryl-2-hydroxy-4-oxo-2-butenic acids. *Koordinatsionnaya khimiya*. 2023;49(10):644–650. (In Russian). DOI: 10.31857/S0132344X23600182. EDN: TGGNTC.

3. Sajadiyeh E., Tabatabaee M., Seifati S.M., Derikvand Z. Cytotoxic effect of palladium(II) complex with 4-amino-5-methyl-2H-1,2,4-triazole-3(4H)-thione ligand on MCF-7 cell line. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2020;54(2):145–147. DOI: 10.1007/s11094-020-02171-5.

4. Baranov V.V., Vikrishchuk N.I., Zubenko A.A., Estrin I.A., Lipatov E.S., Svyatogorova A.E. Synthesis, structure, and biological activity of new metal carboxylate complexes containing a glycoluril fragment. *Russian Journal of General Chemistry*. 2023;93(4):863–869. DOI: 10.1134/S1070363223040126.

5. Xue W., Fu X., Zhao G.-Q., Li Q.-B. Zinc(II) complexes derived from schiff bases: Syntheses, structures, and biological activity. *Acta Chimica Slovenica*. 2021;68(1):17–24. DOI: 10.17344/acs.2020.5817.

6. Sadvovskaya N.Yu., Glushko V.N., Blokhina L.I., Retivov V.M. Biological activity of crown ethers and their metal complexes. *Chemical Safety Science*. 2020;4(2):80–100. (In Russian). DOI: 10.25514/CHS.2020.2.18006. EDN: TVTEAF.

7. Parshina L.N., Trofimov B.A. Metal complexes with N-alkenylimidazoles: synthesis, structures, and biological activity. *Russian Chemical Bulletin*. 2011;6(4):601–614. DOI: 10.1007/s11172-011-0096-9.

8. Ramsis T.M., Ebrahim M.A., Fayed E.A. Synthetic coumarin derivatives with anticoagulation and antiplatelet aggregation inhibitory effects. *Medicinal Chemistry Research*. 2023;32(11):2269–2278. DOI: 10.1007/s00044-023-03148-1.

9. Makhmudov R.R., Nikiforova E.A., Zverev D.P., Baly-

ukina L.A., Skachkov A.P. Synthesis and antinociceptive activity of 2,2'-(1,4-phenylene)bis[3-aryl-2-azaspiro[3.5]nonan-1-ones]. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(4):476–482. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-476-482. EDN: BXPEAR.

10. Deng C., Mi J., Zhou Y., Li X., Liu Z., Sang Z., et al. Design, synthesis, and biological evaluation of novel 2-acetylphenol-rivastigmine hybrids as potential multifunctional agents for the treatment of Alzheimer's disease. *Medicinal Chemistry Research*. 2022;31(5):1035–1048. DOI: 10.1007/s00044-022-02899-7.

11. Shamim S., Gul S., Khan A., Ahmed A., Gul A. Antimicrobial, antifungal and enzymatic profiling of newly synthesized heavy metal complexes of gemifloxacin. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2022;55(10):1033–1039. DOI: 10.1007/s11094-021-02534-6.

12. Ukhov S.V., Mikhalev A.I., Boyarshinov V.D., Novikova V.V. Synthesis, properties, and antimicrobial activity of N-aryl-7-hydroxy-2-imino-2H-chromene-3-carboxamides. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2021;54(10):1012–1014. DOI: 10.1007/s11094-021-02312-4.

13. Pulina N.A., Kuznetsov A.S., Krasnova A.I., Novikova V.V. Synthesis, antimicrobial activity, and behavioral response effects of N-substituted 4-aryl-2-hydroxy-4-oxobut-2-enoic acid hydrazides and their metal complexes. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2019;53(3):220–224. DOI: 10.1007/s11094-019-01983-4.

14. Ulular M., Sarı N., Han F., Ögütçü H., Özkan E.H. Synthesis, antimicrobial, and DNA-Binding evaluation of novel schiff bases containing tetrazole moiety and their Ni(II) and Pt(II) complexes. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2024;57(10):1609–1620. DOI: 10.1007/s11094-024-03056-7.

15. Saroya S., Asija S., Deswal Y., Kumar N., Devi J. Synthesis, characterization, and *in vitro* antimicrobial and antioxidant study of the pentacoordinated organotin(IV) complexes based on acid hydrazide schiff base ligands.

Pharmaceutical Chemistry Journal. 2023;57(9):1372-1383. DOI: 10.1007/s11094-023-03000-1.

16. Gulea A.P., Usataia I.S., Graur V.O., Tsapkov V.I., Chumakov Y.M., Petrenko P.A., et al. Synthesis, structure and biological activity of coordination compounds of copper, nickel, cobalt, and iron with ethyl N'-(2-hydroxybenzylidene)-N-prop-2-en-1-ylcarbamohydrazonothioate. *Russian Journal of General Chemistry*. 2020;90(4):630-639. DOI: 10.1134/S107036322004012X. EDN: GKJZZU.

17. Tkacheva A.R., Sharutin V.V., Sharutina O.K., Shlepotina N.M., Kolesnikov O.L., Shishkova Y.S., et al. Tetravalent platinum complexes: synthesis, structure, and antimicrobial activity. *Russian Journal of General Chemistry*. 2020;90(4):655-659. DOI: 10.1134/S1070363220040155. EDN: AIUONV.

18. Gein V.L., Bobrovskaya O.V., Mashkina E.A., Novikova V.V., Hvolis E.A., Belonogova V.D., et al. Synthesis and antimicrobial activity of methyl (2Z)-4-aryl-2-[4-[(4,6-dimethylpyrimidin-2-yl)sulfamoyl]phenylamino]-4-oxobut-2-enoates and their silver salts // *Russian Journal of General Chemistry*. 2020;90(5):822-826. DOI: 10.1134/S1070363220050102. EDN: LLVFFF.

19. Kustova T.V., Danilova E.A., Sinitsyn A.M. Complex compounds with manganese on the basis of 3,5-diami-

no-1,2,4-triazole derivatives. synthesis and prospects for application. *Liquid Crystals and their Application*. 2020;20(2):35-44. (In Russian). DOI: 10.18083/LCAppl.2020.2.35. EDN: OEZWGO.

20. Kunavina E.A., Sizentsov A.N., Salikova E.V., Rusyaeva M.L., Korol'kova D.S., Koz'minykh V.O. Synthesis, structure, and biological activity of magnesium(II), zinc(II), cobalt(II), and copper(II) bis(4-aryl-1-ethoxy-1-oxobutane-2,4-dionates). *Russian Journal of General Chemistry*. 2019;89(1):67-70. DOI: 10.1134/S1070363219010122.

21. Kunavina E.A., Sizentsov A.N., Levenets T.V., Salikova E.V., Korolkova D.S., Koz'minykh V.O. Synthesis, structure and biological activity of 4-arylsubstituted of 1,4-dioxo-1-ethoxy-2-alkenolates of sodium. *Bashkir Chemical Journal*. 2018;25(3):13-16. (In Russian). DOI: 10.17122/bcj-2018-3-13-16. EDN: YAQXQL.

22. Kawai H., Kitano Y., Mutoh M., Hata G. Synthesis, structure and antitumor activity of a new water-soluble platinum complex, (1R,2R-cyclohexanediamine-N,N') [2-hydroxy-4-oxo-2-pentenoato(2-)-O²] platinum(II). *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 1993. Vol. 4, no. 2. P. 357-361. DOI: 10.1248/cpb.41.357.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кунавина Елена Александровна,

к.х.н., доцент, доцент,
Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,
Российская Федерация,
✉ kea20072007@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4668-9782>

Сизенцов Алексей Николаевич,

к.б.н., доцент, доцент,
Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,
Российская Федерация,
asizen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1099-3117>

Брежнев Андрей Михайлович,

лаборант,
Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,
Российская Федерация,
brejnevandrej@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-6434-1607>

Воронкова Дарья Сергеевна,

лаборант,
Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,
Российская Федерация,
d.voronkova-orenburg2002@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0008-2538-1192>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Kunavina,

Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Associate Professor,
Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018,
Russian Federation,
✉ kea20072007@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4668-9782>

Alexey N. Sizentsov,

Cand. Sci. (Biology), Associate Professor,
Associate Professor,
Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018,
Russian Federation,
asizen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1099-3117>

Andrey M. Brezhnev,

Laboratory Assistant,
Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018,
Russian Federation,
brejnevandrej@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-6434-1607>

Daria S. Voronkova,

Laboratory Assistant,
Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018,
Russian Federation,
d.voronkova-orenburg2002@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0008-2538-1192>

Вклад авторов

Е.А. Кунавина – разработка концепции исследования, обсуждение результатов химического эксперимента, написание текста статьи.
А.Н. Сизенцов – проведение прикладных исследований, обработка полученных данных.
А.М. Брежнев – проведение эксперимента, осуществление расчетов, подготовка иллюстративного материала.
Д.С. Воронкова – проведение эксперимента, осуществление расчетов, подготовка иллюстративного материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 20.03.2024.
Одобрена после рецензирования 03.07.2024.
Принята к публикации 30.08.2024.

Contribution of the authors

Elena A. Kunavina – research concept development, results discussion, preparing the text of manuscript.
Alexey N. Sizontsov – conducting applied research, data processing.
Andrey M. Brezhnev – experimentation, calculations, illustrative material.
Daria S. Voronkova – experimentation, calculations, illustrative material.

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.

Information about the article

The article was submitted 20.03.2024.
Approved after reviewing 03.07.2024.
Accepted for publication 30.08.2024.