

## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 541.49;546.562

**КОМПЛЕКСЫ CU(II), NI(II), CO(II) И AG(I) МЕТАЛЛОВ  
С 1,4-БИС(3-ФЕНИЛ ТРИАЗЕНИЛ) БЕНЗОЛОМ**

Эсмירה Ариф Ага кызы Гулиева<sup>1</sup>, Аждар Акбер оглы Меджидов<sup>2</sup>, Перизад Амрулла кызы Фатуллаева<sup>3</sup>, Рашид Джаббар оглы Касумов<sup>4</sup>, Магомед Аллахверди оглы Байрамов<sup>5</sup>, Фадаиль Фатулла оглы Джалаладинов<sup>6</sup>

<sup>1-3,6</sup> Институт Катализа и Неорганической химии им. академика М. Нагиева НАНА  
<sup>4,5</sup> Институт радиационных проблем НАНА

**Автор, ответственный за переписку:** Эсмירה Ариф Ага кызы Гулиева, esmira.quliyeva68@mail.ru

**Аннотация.** Получены новые комплексы Cu(II), Ni(II), Co(II) и Ag(I) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом. Методами ИК-спектроскопии, электронной спектроскопии, ЭПР, химического и термогравиметрического анализа изучены состав и строение полученных комплексов. В результате предложено квадратно-пирамидальное строение комплексов. Обнаружено необычное поведение температурной зависимости электросопротивления у комплекса серебра – наличие максимума на кривой зависимости удельного сопротивления от температуры в интервале ~240–300 К.

**Ключевые слова:** бензол, комплексные соединения, диарилтриазены, электропроводность

**Финансирование.** Работа выполнена согласно программе научно-исследовательских работ НАНА Института катализа и неорганической химии им. академика М. Нагиева (Государственный регистрационный № 0115 Az 2102).

**Для цитирования:** Гулиева Э.А., Меджидов А.А., Фатуллаева П.А., Касумов Р.Дж., Байрамов М.А., Джалаладинов Ф.Ф. Комплексы Cu(II), Ni(II), Co(II) и Ag(I) металлов с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. Т. 63. № 4. С. 294–304.

## ORIGINAL ARTICLE

**COMPLEXES CU(II), NI(II), CO(II), AND AG(I) METALS WITH 1,4-BIS(3-PHENYL TRIAZENYL) BENZENE**

Esmira Arif Agha Guliyeva<sup>1</sup>, Ajdar Akber Mejidov<sup>2</sup>, Perizad Amrulla Fatullayeva<sup>3</sup>, Rashid Jabbar Kasumov<sup>4</sup>, Magomed Allakhverdi Bayramov<sup>5</sup>, Fadail Fatulla Dhalaladinov<sup>6</sup>

<sup>1-3,6</sup> Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after academician Murtuza Naghiyev of ANAS

<sup>4,5</sup> Institute of Radiation Problems of ANAS

**Corresponding author:** Esmira Arif Agha qizi Guliyeva, esmira.quliyeva68@mail.ru

**Abstract.** New complexes of Cu(II), Ni(II), Co(II) and Ag(I) with 1,4-bis(3-phenyl triazenyl) benzene were obtained. Using the methods of IR, EPR, electron spectroscopy, chemical and thermogravimetric analyzes, the composition and structure of the obtained

complexes were studied. Based on IR, EPR, electron spectroscopy, chemical and thermogravimetric analyzes, a square-pyramidal structure of the complexes is proposed. The unusual behavior of the temperature dependence of the electrical resistance of the silver complex was detected, namely, the presence of a maximum on the temperature dependence of the resistivity in the range of ~240–300 K.

**Keywords:** benzene, complex compounds, diaryl triazenes, electrical conduc

**Financial Support.** The work was carried out according to the program of scientific research works of the NARA Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry. Academician M. Nagiyev (State registration No. 0115 Az 2102).

**For citation:** Guliyeva E.A., Mejidov A.A., Fatullayeva P.A., Kasumov R.J., Bayramov M.A., Dhalaladinov F.F. Complexes Cu(II), Ni(II), Co(II), and Ag(I) Metals with 1,4-Bis(3-Phenyl Triazenil) Benzene // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2. Chemistry. T. 63. N 4. P. 294–304.

Триазеновые соединения находят широкое применение в качестве антираковых препаратов, исходных материалов для получения полимеров, синтеза гетероциклов и т.д. [1–4]. Со структурной точки зрения химия 1,3-бис(арил) триазенов привлекает большое внимание благодаря разнообразию их строения, основанному на монодентатном координировании хелатирования [5–7] и образовании мостиковых структур [8, 9]. Сильные основания позволяют депротонировать триазены в ионы триазенида (1–), которые являются универсальными лигандами по отношению ко всем ионам металлов [10]. Известны различные способы комплексообразования. В большинстве случаев структура комплексов характеризуется изогнутой  $N_3$ -группой, которая действует через два внешних атома N. Кроме того, триазеновый фрагмент обычно действует как моноанионный бидентатный N, N-донорный лиганд, через диссоциацию кислого N–H-протона. Обычно триазениды координируются с металлическим центром, формируя четырехчленное хелатное кольцо [11].

В литературе описаны комплексы, полученные с различными металлами, такими как  $Pt^{IV}$  [12],  $Pd^{II}$  [13],  $Cu^I$  [14], Co, Ni [15], Ru [16] и др., содержащими фрагменты триазена. Двухъядерные комплексы серебра и меди проявляют фотолюминесцентные свойства при 653–667 нм (эмиссии) [17–18]. Ru(II) и Cu(I) – триазенидные комплексы, способные катализировать выделение водорода из уксусной кислоты и воды [19, 20].

Имеющиеся в литературе данные по триазеновым комплексам относятся к диарилтриазеновым системам. Однако комплексы металлов с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бен-

золом не описаны. В данной работе нами синтезированы новые комплексы Cu(II), Ni(II), Co(II) и Ag(I) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом, изучены их строение и удельное сопротивление.

#### Экспериментальная часть

В синтезе использовали аналитически чистые химические вещества в той форме, в которой они были получены (*n*-фенилендиамин, чистый), дополнительно очищали вакуумной сублимацией (при температуре 146–149 °C). ИК-спектры регистрировали в диапазоне 4000–400  $cm^{-1}$  в вазелине с помощью спектрофотометра «Nicolet IS10». Электронные абсорбционные спектры снимали на спектрофотометре «UV-VIS Evolution 60S» в растворах этанола и диметилформамида в диапазоне 200–400 и 400–800 нм соответственно. ЭПР-спектры снимали в твердом состоянии при комнатной температуре на приборе «Bruker BioSpin GmbH». Магнитные измерения проводили методом Фарадея на установке, где в качестве баланса использовали микроаналитические весы «ВЛО-20г-2-М», а в качестве эталона –  $HgCo(SCN)_4$ .

Для осуществления термогравиметрического анализа использовали дериватограф «NETZSCH STA 449F3» в инертной атмосфере, элементный анализ проводили в аналитической лаборатории Tubitak (Турция), на анализаторе «LECOCHNS 932».

Измерение удельного сопротивления комплексов в твердом состоянии проводили на постоянном токе четырехзондовым методом.

**Получение 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензола.** В смеси воды и спирта, взятых в соотношении 1:1, растворяли 0,1 моль (14,5 г) *n*-фенилендиамина гидрохлорида, охлаждали

до  $(-5)-(-9)^\circ\text{C}$ . Затем при перемешивании добавляли 0,3 моля концентрированной дымящейся  $\text{HCl}$ , а спустя некоторое время добавляли 0,16 моля (11,04 г)  $\text{NaNO}_2$ , при этом следили, чтобы температура реакционной смеси не поднималась выше  $(-5)-(-9)^\circ\text{C}$ . По истечении 10 мин добавляли порциями при перемешивании 0,1 моль анилина, в котором предварительно суспендировали 0,15 моль (12,3 г) ацетата натрия. При этом температура реакционной смеси не поднималась выше  $-3^\circ\text{C}$ . После прибавления последних порций смеси анилина и ацетата натрия выпадал темноокрашенный осадок 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензола. Перемешивание продолжали еще около 1 ч, полученный осадок отсасывали на воронке Бюхнера, промывали водой, сушили в вакуум-эксикаторе над  $\text{CaCl}_2$  и перекристалizовывали из смеси спирт-вода.  $T_{\text{пл.}} = 135^\circ\text{C}$ . Выход 86%. Для  $\text{C}_{18}\text{H}_{16}\text{N}_6$  вычислено: С 68,35; Н 5,06; N 26,58. Найдено: С 68,40; Н 4,99; N 26,63. ИК-спектр: 3400 (ср. N–H валент.), 3200 (ср.,  $\nu$  N–H), 2850 (о. сл.  $\nu$  C–H аром.), 1600 (сл.  $\delta$  N–H), 1495 (ср.,  $\nu$  N=N), 1460 (ср.,  $\nu$  N=N), 1420 (ср.,  $\nu$  N=N).

#### **Получение комплекса двухвалентной меди с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом**

К 0,001 моля (300 мг) 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензола, растворенного в 15 мл ДМФА, добавляли 0,001 моль (200 мг) ацетата меди  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  в 5 мл метилового спирта. Смесь доводили до кипения и перемешивали в течение 1 ч. Через сутки полученный осадок темно-синего цвета отфильтровывали, промывали водой, затем спиртом. Высушивали в эксикаторе над серной кислотой до установления постоянной массы.  $T_{\text{пл.}} > 250^\circ\text{C}$ . Выход 65%. Для комплекса  $\text{Cu}_2(\text{C}_{18}\text{H}_{16}\text{N}_6)_2 \cdot 2\text{ДМФА}$ , вычислено: С 55,75; Н 5,08; N 18,58. Найдено: С 55,69; Н 5,01; N 18,11. ИК-спектр: 3350 (ср. N–H валент.), 2850 (о. сл.  $\nu$  C–H аром.), 1660  $\text{cm}^{-1}$  (о. с.,  $\delta$  C=O ДМФ), 1460  $\text{cm}^{-1}$  (ср.,  $\delta$  N=N).

#### **Получение комплекса серебра 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом**

К 0,003 моля (1 г) 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензола, растворенного в 30 мл ДМФА, добавляли 0,003 моля (600 мг)  $\text{AgNO}_3$  в 10 мл метилового спирта. Смесь доводили до кипения и перемешивали в течение 1 ч. Через сутки полученный осадок темно-коричневого цвета отфильтровывали, промывали водой, затем спир-

том. Высушивали в эксикаторе над серной кислотой до установления постоянной массы.  $T_{\text{пл.}} > 250^\circ\text{C}$ . Выход 70%. Для комплекса  $\text{Ag}(\text{C}_{18}\text{H}_{16}\text{N}_6) \cdot \text{ДМФА}$  вычислено: С 50,70; Н 4,62; N 16,90; найдено: С 50,65; Н 4,59; N 16,84. ИК-спектр: 3350 (ср. N–H валент.), 2850 (о. сл.  $\nu$  C–H аром.), 1460  $\text{cm}^{-1}$  (ср.,  $\delta$  N=N).

Получение комплекса серебра с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом при соотношении 2:1 (M:L) проводили по вышеописанной методике.

#### **Получение комплекса кобальта 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом**

К 0,002 моля (500 мг) ацетата кобальта  $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ , растворенного в 10 мл метилового спирта прибавляли 0,003 моля (1 г) 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензола в 30 мл ДМФА. В реакционную смесь добавляли несколько капель триэтиламина. Доводили до кипения и перемешивали в течение 1 ч. Через сутки полученный темный осадок отфильтровывали, промывали водой, затем спиртом. Высушивали в эксикаторе над серной кислотой до установления постоянной массы.  $T_{\text{пл.}} > 250^\circ\text{C}$ . Выход 68%. Для комплекса  $\text{Co}_2(\text{C}_{18}\text{H}_{16}\text{N}_6)_2 \cdot 2\text{ДМФА}$  вычислено: С 56,37; Н 5,14; N 18,79, найдено: С 56,42; Н 5,20; N 18,70. ИК-спектр: 3350 (ср. N–H валент.), 2850 (о. сл.  $\nu$  C–H аром.), 1660  $\text{cm}^{-1}$  (о. с.,  $\delta$  C=O ДМФ), 1450  $\text{cm}^{-1}$  (ср.  $\delta$  N=N).

#### **Получение комплекса никеля с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом**

К ацетату никеля  $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  (0,002 моля, 500 мг), растворенному в 10 мл метилового спирта, прибавляли 0,003 моля (1 г) 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензола в 20 мл смеси ДМФ и спирта, взятых в соотношении 1:1. В реакционную смесь добавляли несколько капель триэтиламина. Доводили до кипения и перемешивали в течение 1 ч. Через сутки полученный темный осадок отфильтровывали, промывали водой, затем спиртом. Высушивали в эксикаторе над серной кислотой до установления постоянной массы.  $T_{\text{пл.}} > 250^\circ\text{C}$ . Выход 63%. Для  $\text{Ni}_2(\text{C}_{18}\text{H}_{16}\text{N}_6)_2 \cdot 2\text{ДМФА}$  вычислено: С 56,50; Н 5,15; N 18,83; найдено: С 56,55; Н 5,10; N 18,90. ИК-спектр: 3350 (ср. N–H валент.), 2850 (о. сл.  $\nu$  C–H аром.), 1660  $\text{cm}^{-1}$  (о. с.,  $\delta$  C=O ДМФ), 1470  $\text{cm}^{-1}$  (ср.,  $\delta$  N=N).

#### **Обсуждение результатов**

Диарилдитриазены *n*-фенилендиамин и его комплексы с металлами могут представлять су-

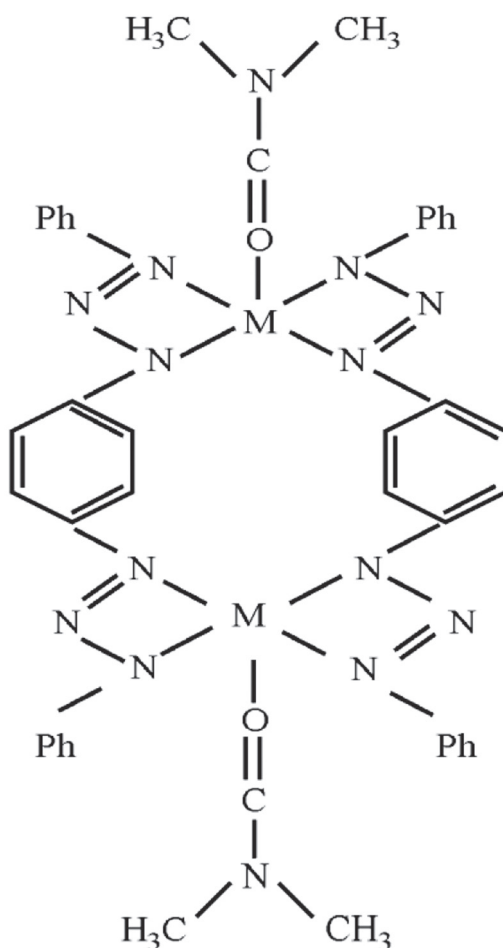


Рис. 1. Схема биядерного комплекса (M = Cu, Co, Ni)  
с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом

ществленный интерес с точки зрения получения электропроводящих полимеров.

Нами синтезированы комплексные соединения некоторых переходных элементов (Cu, Co, Ni, Ag) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом (рис. 1).

В ИК-спектре исходного лиганда в области валентных колебаний N–N наблюдается полоса при  $\sim 3200 \text{ см}^{-1}$  (ср.,  $\nu \text{ N–H}$ ). При комплексообразовании эта полоса исчезает из-за образования связи N–N с вытеснением протона из аминогруппы (рис. 2).

Существенный сдвиг в длинноволновую область при комплексообразовании испытывает полоса поглощения группы N=N. Эта полоса в свободном лиганде наблюдается при  $1495 \text{ см}^{-1}$  (ср.,  $\delta \text{ N=N}$ ), а в комплексе Co(II) она находится при  $1480 \text{ см}^{-1}$  (ср.,  $\delta \text{ N=N}$ ), что указывает на участие в координации N=N-фрагмента. В ИК-спектрах комплексов Co(II), Ni(II) и Cu(II) с 1,4-бис(3-фенилтриазенил) бензолом

наблюдается амидная полоса диметилформамида при  $1660 \text{ см}^{-1}$  (о. с.,  $\delta \text{ C=O}$  ДМФ), (валентные CO-колебания), что свидетельствует об участии этой группы в координации с ионами металлов, поскольку в свободной молекуле ДМФ-поглощение наблюдается при  $1671$  (о. с.,  $\delta \text{ C=O}$  ДМФ)  $\text{ см}^{-1}$ . В ИК-спектре соединений серебра эта полоса отсутствует.

В соответствии с данными термогравиметрического анализа распад комплексов происходит в три этапа. В случае комплексов кобальта (рис. 3) на первой стадии распада в температурном интервале  $50\text{--}220 \text{ }^\circ\text{C}$  наблюдается потеря веса  $22,3\%$  за счет удаления ДМФ (потеря двух молекул ДМФА на одну формульную единицу составляет  $21,39\%$  (расчет) и  $22,30\%$  (эксперимент)). На второй стадии в температурном интервале  $220\text{--}520 \text{ }^\circ\text{C}$  наблюдается потеря веса  $28,6\%$ , вероятно, за счет триазенового фрагмента (потеря двух молекул триазенового фрагмента на одну формульную единицу составляет  $31,32\%$  (расчет)

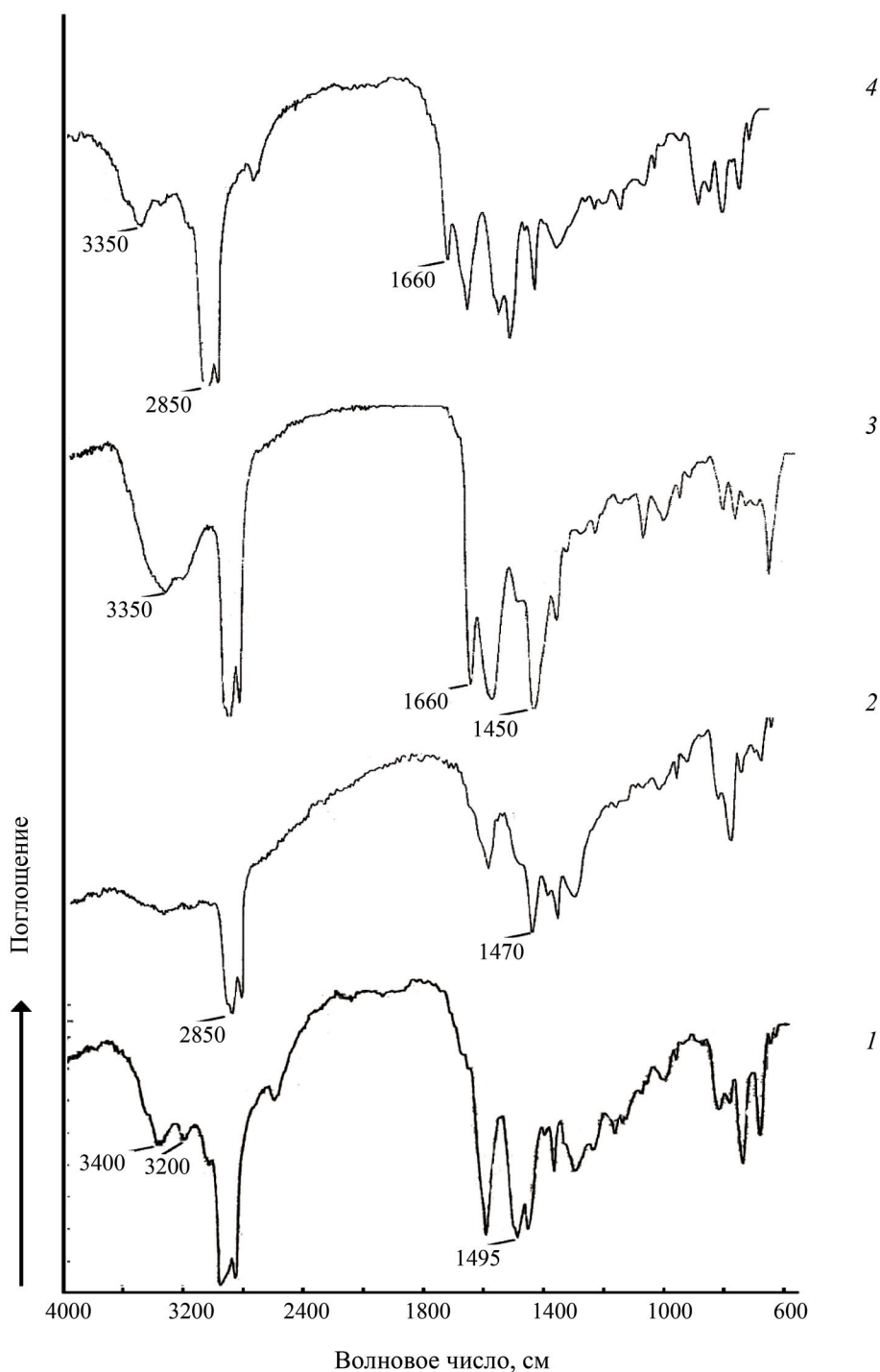


Рис. 2. ИК-спектры лиганда и комплексов Cu(II), Co(II) и Ag(I) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом:  
1 – лиганд(1,4-бис(3-фенил триазенил) бензол); 2– комплекс Ag(I) с 1,4- бис(3-фенил триазенил) бензолом;  
3 – комплекс Co(II) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом;  
4 – Cu(II) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом

и 28,60% (эксперимент). Комплекс устойчив к дальнейшему нагреванию, и только при температуре выше 800 °С начинается его разложение с последующим окислением до CoO. Потеря массы: 23,27% (расчет) и 29,35% (эксперимент).

Примечательно, что в интервале 52–800 °С не наблюдалось существенного изменения массы, что можно объяснить образованием в процессе распада ароматических соединений с конденсированными кольцами. Оставшаяся масса

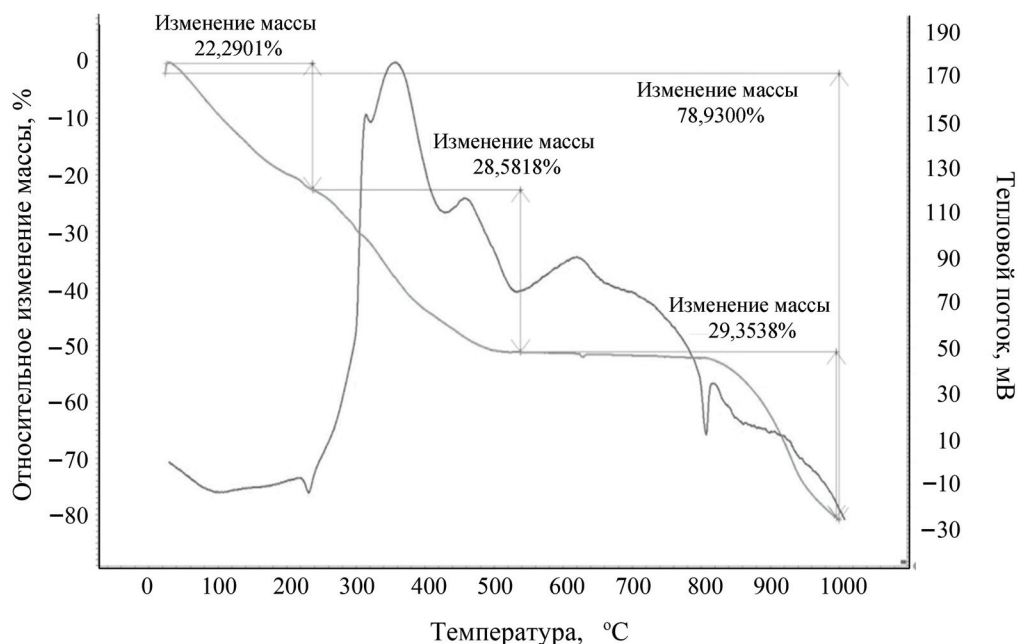


Рис. 3. Дериватограмма комплекса кобальта с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом

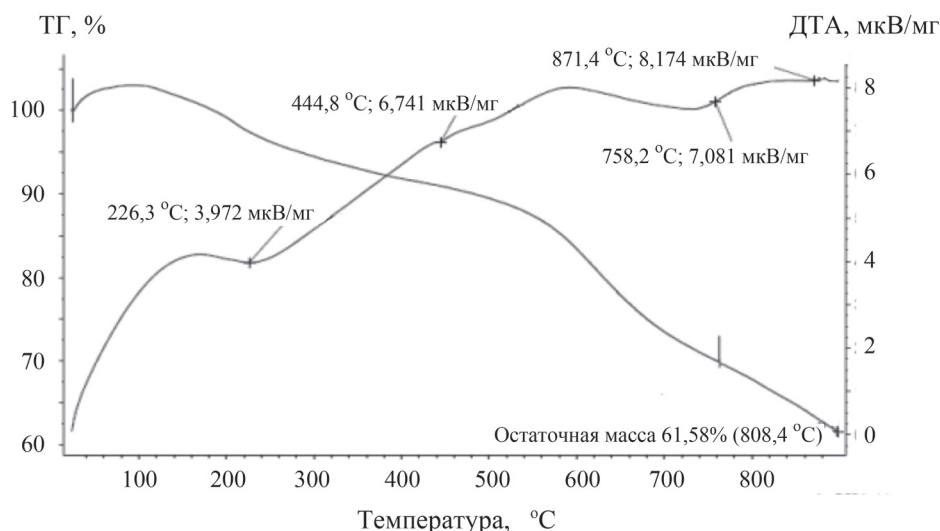


Рис. 4. Дериватограмма комплекса серебра (2:1) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом

(~21%) соответствует содержанию никеля в образце.

Распад серебряного комплекса (рис. 4) также происходит в три стадии с остаточной массой 61,5%. В интервале 80–250 °C происходит потеря воды (потеря 1 молекулы ДМФА на одну формульную единицу составляет 6,31% (расчет) и 6,87% (эксперимент). Комплекс устойчив к дальнейшему нагреванию, и только при тем-

пературе выше 450 °C начинается его разложение с последующим удалением триазенового фрагмента. Потеря массы составляет 61,50% (расчет) и 56,80% (эксперимент).

В электронных спектрах поглощения комплекса Co(II) (рис. 5), снятых в растворе диметилформамида, в видимой области наблюдаются три широкие полосы d-d-переходов при 540, 600 и 670 нм, характерные для квадратно-пира-

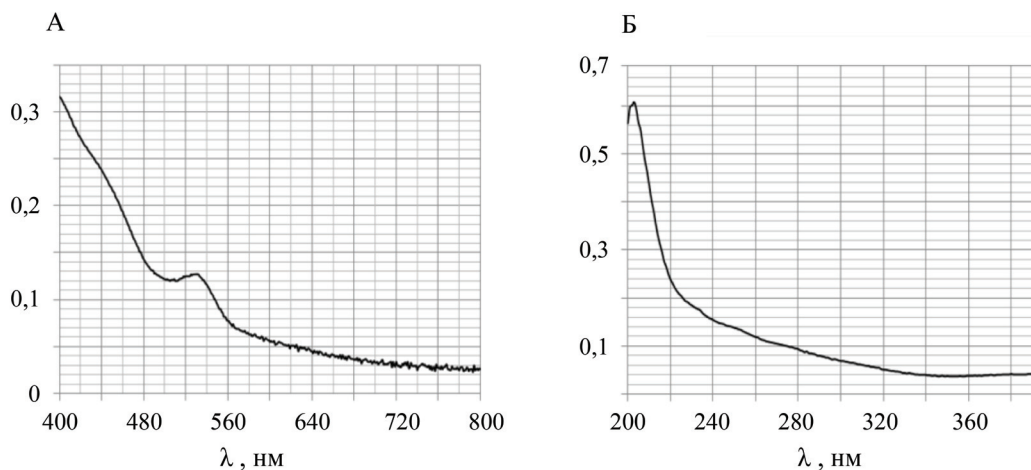


Рис. 5. Электронные спектры комплекса кобальта(II) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом: А – в видимой области, Б – в УФ-области

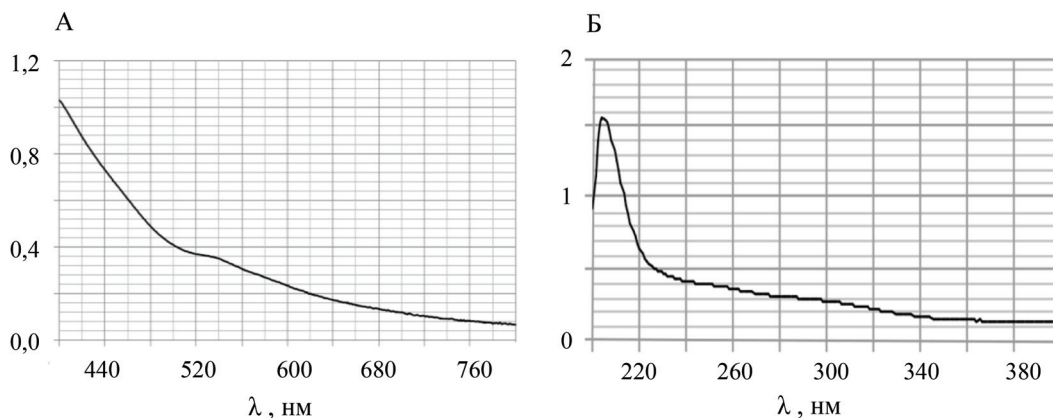


Рис. 6. Электронные спектры комплекса никеля с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом: А – в видимой области, Б – в УФ-области

мидалльных комплексов двухвалентного кобальта [21]. У комплексов Ni(II) обнаружен d-d-переход при 530 нм (рис. 6). В комплексе Cu(II) также наблюдается d-d-переход при 520 нм (рис. 7), а слабая полоса при 310 нм относится к переходу  $n \rightarrow \pi^*$  карбонильной группы. При 208 и 265 нм комплекс серебра содержит полосы  $\pi \rightarrow \pi^*$  поглощения двух различных замещенных ароматических колец (рис. 8).

В спектрах ЭПР всех исследованных твердых образцов комплексов, а также лиганда наблюдается слабый примесный анизотропный радикальный сигнал с  $g_1 = 2,0183$ ,  $g_2 = 2,0061$ ,  $g_3 = 1,984$  (рис. 9). Этот спектр может быть обусловлен триазенидными радикалами, образующимися путем окисления кислородом воздуха.

Спектр ЭПР комплекса Cu(II) указывает на аксиальную симметрию и подтверждает предполагаемое квадратно-пирамидальное строение (рис. 10). Параметры спектра  $g_{\parallel} = 2,274$ ,  $g_{\perp} = 2,070$ ,  $A_{\parallel} = 146,7$ .

В твердом состоянии исследованные комплексы обладают высоким удельным сопротивлением, находящимся в пределах 2–8 МОм. Для комплекса серебра обнаружен максимум увеличения удельного сопротивления от температуры в интервале ~240–300 К, что, вероятно, связано с изменением характера координации ионов серебра (рис. 11). При дальнейшем повышении температуры электросопротивление падает. Таким образом, эффект аномальной зависимости удельного сопротивления от температуры наблюдался только для комплекса серебра.

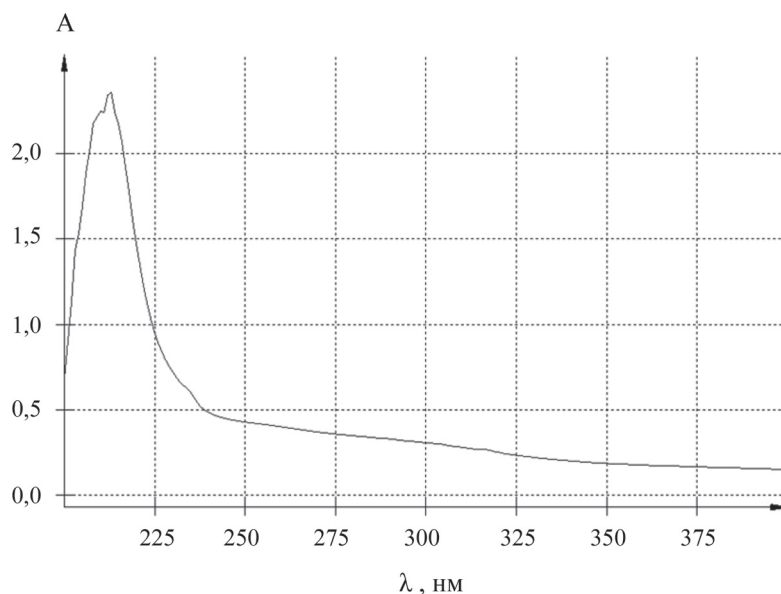


Рис. 7. Электронные спектры комплекса меди с 1,4-бис(3- фенил триазенил) бензолом в УФ-области

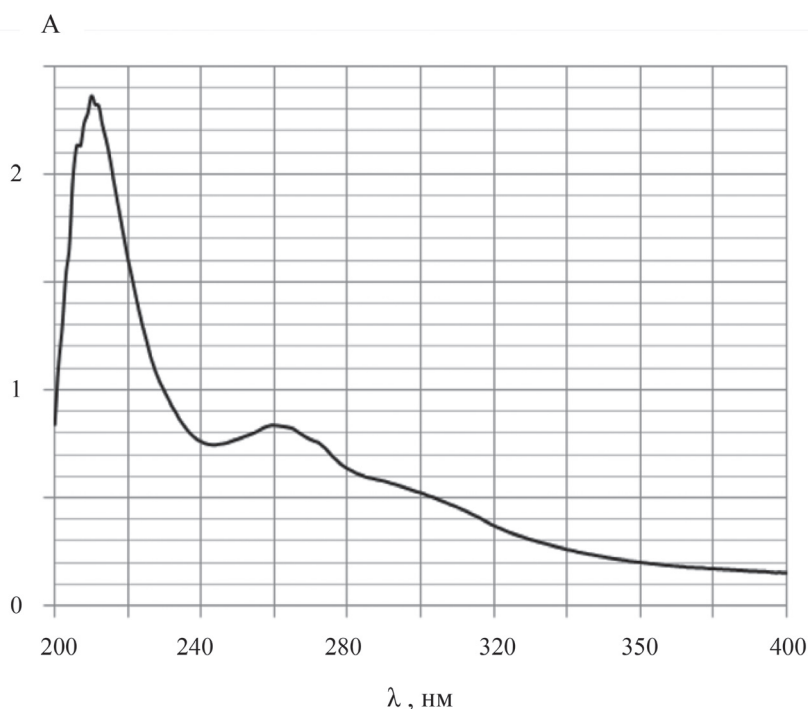


Рис. 8. Электронные спектры комплекса серебра с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом УФ-области

### Выводы

Синтезированы новые комплексы Cu(I), Ag(II) и Co(II) с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом. На основании данных ИК-спектроскопии, ЭПР, электронной спектроскопии, химического и термогравиметрического анализа предложено квадратно-пирамидальное строение комплексов. Обнаружено необычное

поведение температурной зависимости электро-сопротивления у комплекса серебра – наличие максимума на кривой зависимости удельного сопротивления от температуры в интервале ~240–300 К. Это может быть связано с изменением характера координации ионов серебра. При дальнейшем повышении температуры электро-сопротивление падает.



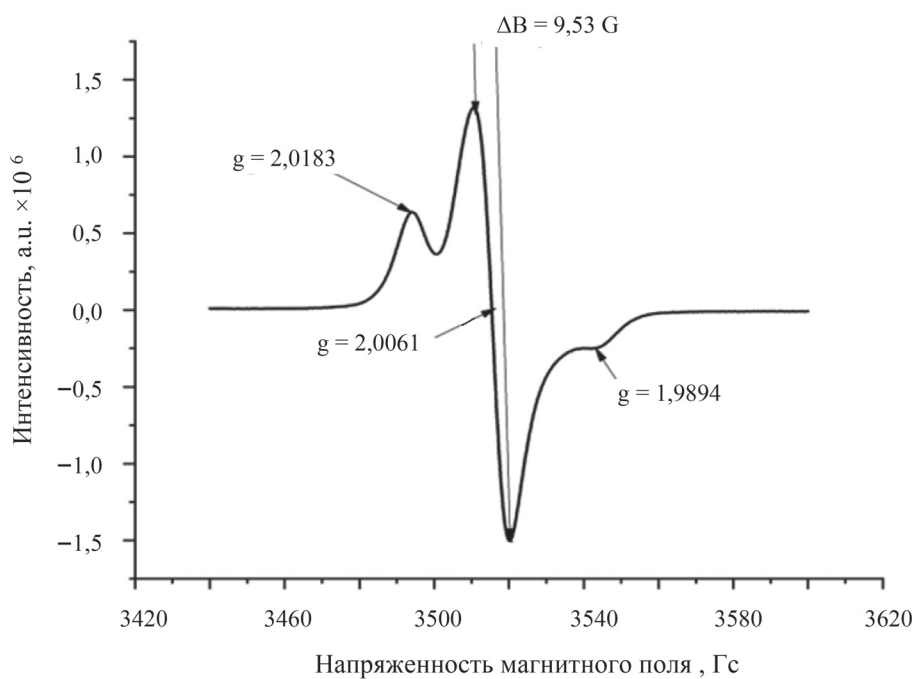


Рис. 9. Спектр ЭПР комплекса Ag с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом в поликристаллическом состоянии при 248 К

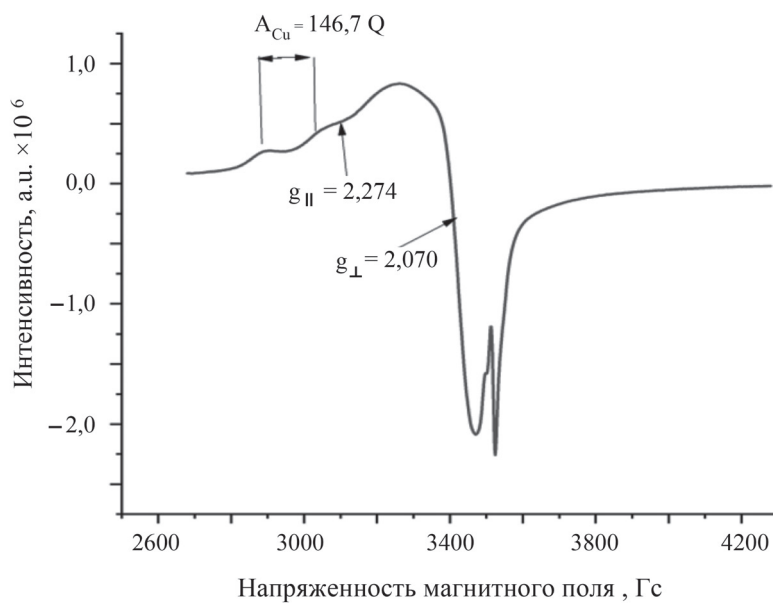


Рис. 10. Спектр ЭПР комплекса Cu с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом в поликристаллическом состоянии при 248 К

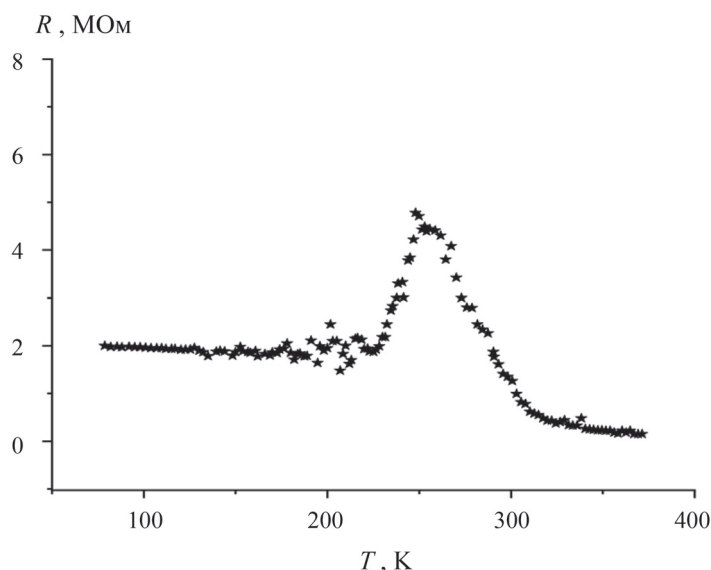


Рис. 11. Температурная зависимость сопротивления комплекса серебра с 1,4-бис(3-фенил триазенил) бензолом

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vajs J., Steiner I., Brozovic A. // *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2015. Vol. 153. P. 42 (DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2015.09.005).
2. Su-Ping Luo, Jia-Mei Lei and Shu-Zhong Zhan // *Journal of Coordination Chemistry*. 2018. Vol. 71. N 8. P. 11 (DOI: 10.1080/00958972.2018.1457788).
3. Juan José Nuricumbo-Escoba Carlos Campos-Alvarado Gustavo Ríos-Moreno David Morales-Morales Patrick J. Walsh Miguel Parra-Hake // *Journal of inorganic chemistry*. 2007. Vol. 46. N 15. P. 6182 (DOI: 10.1021/ic700516p).
4. Christopher J., Adams R., Angharad Baber, Neil G. Connelly, Phimpaka Harding, Owen D. Hayward, Mathivathani Kandiah, Guy Orpen A. // *Journal of Dalton Trans*. 2006. P. 1749 (DOI: 10.1039/b514513a).
5. Davi Fernando Back, Manfred Höerner, Fernanda Broch, Gelson Manzoni de Oliveira // *Journal of Polyhedron*. 2012. Vol. 31. P. 558 (DOI: 10.1016/j.poly.2011.10.009).
6. Payehghadr M., Kazem Rofouei M., Morsali A., Shampur M. // *Journal of Inorganica Chimica Acta*. 2007. Vol. 360. N 6. P. 1792 (DOI: 10.1016/j.ica.2006.09.015).
7. Gantzel P., R.J. // *Journal of Inorg. Chem*. 1998. Vol. 37. P. 3450–3451 (DOI: 10.1021/ic9802911).
8. Andrew L. Johnson, Alexander M. Willcocks, Stephen P. Richards // *Inorg. Chem*. 2009. Vol. 48. P. 8613 (DOI: 10.1021/ic901051).
9. Jing Chu, Xiao-hua Xie, Shao-rong Yang, Shu-zhong // *Journal of Inorganica Chimica Acta*. 2014. Vol. 410. P. 191 (DOI: 10.1016/j.ica.2013.10.02).
10. Beck J., Höerner M., Dittmann G. // *Journal of Eur. J. Inorg. Chem*. 2009. P. 4314 (DOI: 10.1002/ejic.200900470).
11. Dan Xue, Su-Ping Luo, Yu-Ying Chen, Ze-Xin Zhang, Shu-Zhong Zhan // *Journal of Polyhedron*. 2017 (DOI: 10.1016/j.poly.2017.04.035).
12. Ruiz J., López J.F.J., Rodríguez V., Pérez J., de Arellano M.C.R., López G. // *Journal of Chem. Soc. Dalton Trans*. 2001. P. 2683.
13. García-Herbosa G., Connelly N.G., Munoz A., Cuevas J.V., Orpen A.G., Politzer S.D. // *Journal of Organometallics*. 2001. Vol. 20. P. 3223 (DOI: 10.1021 / om010075r).
14. Reza Kia // *Journal of Inorg. Chim. Acta*. 2016. Vol. 446. P. 32 (DOI: 10.1016/j.ica.2016.02.037).
15. Beck J., Höerner M., Dittmann G. // *Journal of J. Inorg. Chem*. 2009. P. 4314 (DOI: 10.1002/ejic.200900470).
16. Vajs J., Steiner I., Brozovic A., Pevec A., Ambriović-Ristov A., Matković M., Piantanida I., Urankar D., Osmak M., Košmrlj J. // *Journal of Inorganic Biochemistry*. Vol. 153. 2015. P. 42 (DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2015.09.005).
17. Dan Xue., Su -Ping Luo., Shu- Zhong Zhan // *Journal of Appl Organometal Chem*. 2017. Vol. 32 (2). e3997 (DOI: 10.1002/aoc.3997).
18. Su-Ping Luo, Jia-Mei Lei, Shu-Zhong Zhan // *Journal of Inorganic Chemistry Communications* (DOI: 10.1016/j.inoche.2018.02.004).
19. Correa-Ayala E., Campos-Alvarado C., Chávez D., Morales-Morales D., Hernández-Ortega S., García J.J., Flores-Álamo M., Miranda-Soto V., Parra-Hake M. // *Journal of Inorg. Chim. Acta*. 2017. Vol. 466. P. 510 (DOI: 10.1016/j.ica.2016.03.004).
20. Ting Fang Hai-Xia Lu Jia-Xing Zhao Shu-Zhong Zhan Qi-Ying Lv. // *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. 2014. Vol. 396, P. 304 (DOI: 10.1016/j.molcata.2014.10.008).
21. Gang Yu., Shu-Zhong Zhana, Seik Weng Ng. // *Journal of Acta Cryst*. 2012. E68, m758 (DOI: 10.1107/S1600536812020569).

**Информация об авторах**

Гулиева Эмира Ариф Ага кызы – вед. науч. сотр. лаборатории комплексных соединений редких металлов (ЛКС № 25) Института катализа и неорганической химии им. Академика М. Нагиева НАНА, доцент, канд. хим. наук, [esmira.quliyeva68@mail.ru](mailto:esmira.quliyeva68@mail.ru);

Меджидов Аждар Акбер оглы – зав. отделом координационных соединений Института катализа и неорганической химии им. академика М. Нагиева НАНА, академик, докт. хим. наук, [ajdarmedjidov@gmail.com](mailto:ajdarmedjidov@gmail.com);

Фатуллаева Перизад Амрулла кызы – вед. науч. сотр. лаборатории молекулярных магнетиков и проводников (ЛММП № 11) Института катализа и неорганической химии им. академика М. Нагиева НАНА, доцент, канд. физ.-матем. наук, [pfatullayeva@mail.ru](mailto:pfatullayeva@mail.ru);

Касумов Рашид Джаббар оглы – вед. науч. сотр. лаборатории радиационной физики полупроводников (ЛРФП № 7) Института радиационных проблем НАНА, доцент, канд. физ.-матем. наук, [rashid-kasumov@mail.ru](mailto:rashid-kasumov@mail.ru);

Байрамов Магомед Аллахверди оглы – доцент лаборатории радиационной физики полупроводников (ЛРФП № 7) Института радиационных проблем НАНА, доцент, канд. физ.-матем. наук, [mamedamea@gmail.com](mailto:mamedamea@gmail.com);

Джалаладдинов Фадаиль Фатулла оглы – зав. лабораторией комплексных соединений редких металлов (ЛКС № 25) Института катализа и неорганической химии им. академика М. Нагиева НАНА, [fadail1952@gmail.com](mailto:fadail1952@gmail.com).

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 16.01.2022;  
одобрена после рецензирования 12.02.2022;  
принята к публикации 24. 02.2022.