

Синтез и галогенциклизация *N*- и *O*-металлильных производных 4-метилхинолин-2(1*H*)-она

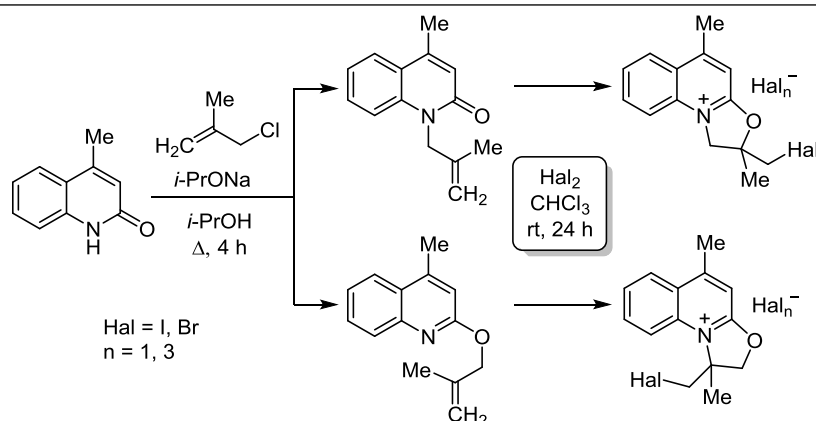
Дмитрий Г. Ким¹, Евгения А. Вершинина^{1*}, Ирина Г. Овчинникова²,
Павел А. Слепухин², Марина А. Ежикова², Михаил И. Кодесс²

¹ Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет),
пр. Ленина, 76, Челябинск 454080, Россия; e-mail: enka84@mail.ru

² Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН,
ул. С. Ковалевской, 22 / Академическая, 20, Екатеринбург 620990, Россия; e-mail: nmr@ios.uran.ru

Поступило 30.07.2018

Принято 31.08.2018



При алкировании 4-метилхинолин-2(1*H*)-она металлилхлоридом образуется смесь региоизомерных 1-металлил-4-метилхинолин-2(1*H*)-она и 2-металлиокси-4-метилхинолина, которые реагируют с иодом и бромом с образованием дигидрооксазоло[3,2-*a*]хинолиниевых систем.

Ключевые слова: галогениды дигидрооксазоло[3,2-*a*]хинолиния, металлилхлорид, 1-металлил-4-метилхинолин-2(1*H*)-он, 2-металлиокси-4-метилхинолин, 4-метилхинолин-2(1*H*)-он, галогенциклизация.

В настоящее время в синтезе гетероциклов становятся популярными реакции электрофильной гетероциклизации непредельных соединений, содержащих гетероатом, под действием различных галогенирующих агентов.¹ Такой подход, в частности, позволяет эффективно осуществлять синтезы новых оксазолохинолиновых систем. Соли хинолиния вызывают интерес как фармакологически активные соединения, обладающие спектром разнообразных полезных физиологических свойств: противомикробной, антигельминтной и противогрибковой активностью.² Производные хинолина находят применение и в качестве полиметиновых красителей, сенсibilizаторов фотоэмульсий.³ Известны публикации о галогенциклизации некоторых 1-аллилхинолин-2(1*H*)-онов.⁴

Целью настоящей работы является синтез *N*- и *O*-металлильных производных 4-метилхинолин-2(1*H*)-она и исследование их реакций с бромом и иодом. По

литературным данным, алкилирование хинолин-2(1*H*)-онов аллилбромидом может протекать с образованием *N*-^{4a} или *O*-аллильных⁵ производных либо с образованием смеси продуктов.^{4b,6} Нами найдено, что алкилирование 4-метилхинолин-2(1*H*)-она (1) металлилхлоридом в *i*-PrOH в присутствии *i*-PrONa приводит к смеси 1-металлил-4-метилхинолин-2(1*H*)-она (2) и 2-металлиокси-4-метилхинолина (3) в соотношении 5:1 (схема 1).

Схема 1

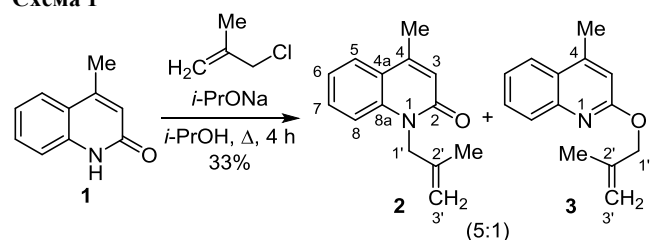
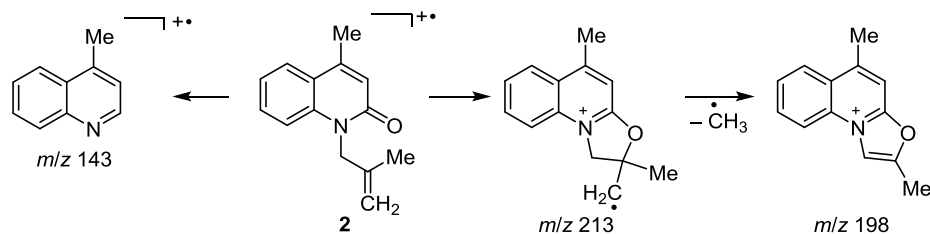


Схема 2



Методом колоночной хроматографии на силикагеле (элюент EtOAc–гексан, 1:3) индивидуальные маслообразные продукты были разделены и охарактеризованы спектрами ЯМР ^1H и ^{13}C , в которых отнесение сигналов подтверждено двумерными экспериментами ЯМР: ^1H – ^{13}C HSQC и ^1H – ^{13}C HMBC. В спектре ЯМР ^1H 2-металлиокси-4-метилхинолина (**3**) в растворе CD_3CN сигнал протона Н-3 смещен на 0.3 м. д. в область слабого поля по сравнению с сигналом в спектре 1-металлил-4-метилхинолин-2(1*H*)-она (**2**), а в спектрах ЯМР ^{13}C соединений **2** и **3** характерными являются сигналы метиленовых углеродов групп OCH_2 и NCH_2 при 69.3 и 47.7 м. д. соответственно.

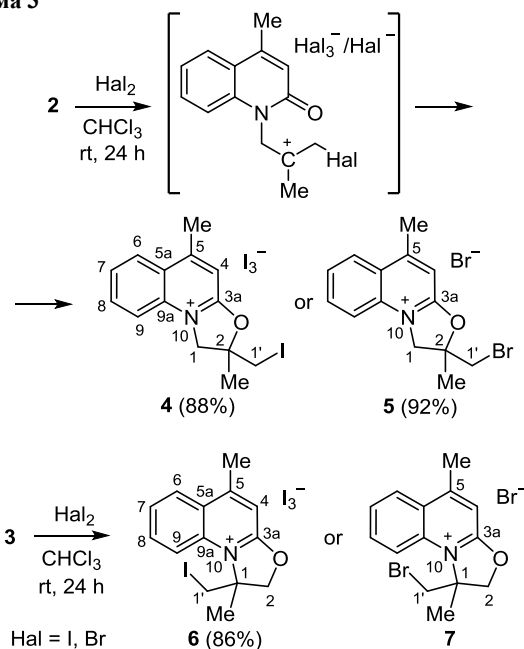
Масс-спектры полученных изомеров **2** и **3** по характеру фрагментации почти совпадают и характеризуются наличием пиков молекулярного иона $[\text{M}]^{+\bullet}$ с интенсивностью 26 и 18% соответственно (схема 2). У пиков иона $[\text{M}-\text{CH}_3]^+$ максимальная интенсивность, что связано с образованием устойчивых оксазоло[3,2-*a*]-хинолиниевых систем в результате элиминирования метильного радикала. Среди фрагментационных ионов имеется пик с m/z 143 (интенсивность 9 и 23% для соединений **2** и **3**), свидетельствующий об образовании катион-радикала 4-метилхинолина. Следует отметить, что время удерживания *N*-изомера больше, чем *O*-изомера. Склонность соединений **2** и **3** к внутримолекулярной гетероциклизации, обнаруженной в ходе масс-спектрометрических экспериментов, может свидетельствовать о возможности электрофильной гетероциклизации под действием галогенов.

Установлено, что взаимодействие субстратов **2** и **3** с галогенами, протекающее, вероятнее всего, по карбокатионному механизму, приводит к образованию солей 2-галогенметил-2,5-диметил-1,2-дигидро[1,3]оксазоло[3,2-*a*]хинолиния **4**, **5** и 1-галогенметил-1,5-диметил-1,2-дигидро[1,3]оксазоло[3,2-*a*]хинолиния **6**, **7** в виде трийодидов и бромидов (схема 3). Если бы реакция протекала через галогенониевый ион, то, вероятнее всего, из-за стерических факторов образовался бы шестичленный цикл.

Время реакции гетероциклизации оценивалось по исчерпывающему образованию продуктов **4–7** в ампуле ЯМР спектрометра в растворах $\text{DMSO}-d_6$. По данным спектроскопии ЯМР ^1H бромциклизация проходила за 1 ч, тогда как полная трансформация исходного соединения **2** или **3** под действием иода завершалась через 24 ч. Спустя указанное время в спектрах ЯМР ^1H наблюдались только сигналы продуктов циклизации.

Строение продуктов галогенциклизации **4–7** подтверждено данными спектров ЯМР ^1H и ^{13}C , полное

Схема 3



отнесение сигналов ^1H и ^{13}C выполнено на основании данных 2D экспериментов ^1H – ^{13}C HSQC и ^1H – ^{13}C HMBC. В спектрах ЯМР ^1H галогенидов **4–7** сигналы протонов хинолинового цикла, по сравнению с сигналами этих же протонов в спектрах исходных соединений **2** и **3**, смещены на 0.5 м. д. в слабое поле. Наличие в молекулах **4–7** асимметричного атома приводит к неэквивалентности протонов метиленовых групп при атомах С-1, С-2 и С-1', однако значения неэквивалентности химических сдвигов существенно различаются в региоизомерах. Сигналы протонов группы OCH_2 в спектрах галогенидов **6** и **7** смещены в область слабого поля на 0.1–0.2 м. д., по сравнению с сигналами протонов группы NCH_2 в спектрах соединений **4** и **5**. Кроме того, в спектрах продуктов циклизации **6** и **7** наблюдается смещение в слабое поле на 0.3 м. д. сигналов протонов группы CH_2Hal и метильной группы, связанной с оксазольным циклом, по сравнению с соответствующими сигналами в спектрах соединений **4** и **5**. В спектрах ЯМР ^{13}C , как и следовало ожидать, наибольшие различия отмечаются в химических сдвигах атомов углерода С-1 и С-2.

Продукт циклизации соединения **3** с иодом был выделен в кристаллическом состоянии в виде трийодида 1-йодметил-1,5-диметил-1,2-дигидро[1,3]оксазоло[3,2-*a*]хинолиния (**6**). Структура соединения **6** была исследована методом РСА. По данным РСА, трийодид

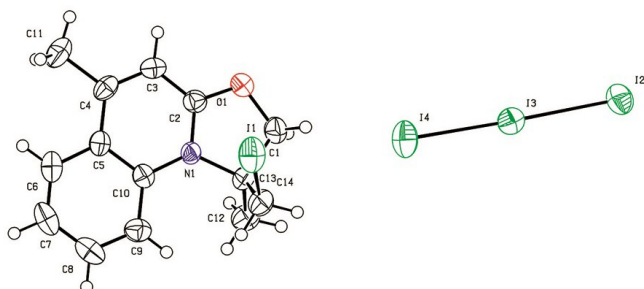


Рисунок 1. Молекулярная структура соединения **6** в представлении атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью.

6 кристаллизуется в centrosymmetric пространственной группе моноклинной системы (рис. 1). Оксазолинолиновый фрагмент практически плоский, атом углерода C(13) выходит из плоскости цикла на 0.059 Å. Асимметрия длин связей O(1)–C(1) (1.447(5) Å) и O(1)–C(2) (1.304(5) Å) указывает на сопряжение кислорода с π-системой хинолина и на его очевидный вклад в делокализацию заряда органического катиона. В целом длины связей C(sp²)–C(sp²) π-системы хинолина изменяются с 1.34 до 1.43 Å, что указывает на серьезное возмущение ароматичности системы. Триодид-ион имеет ожидаемую линейную геометрию с практически равными длинами связи I–I. Какие-либо специфические межмолекулярные контакты в кристалле отсутствуют.

Таким образом, 4-метилхинолин-2(1H)-он при взаимодействии с металлхлоридом способен алкилироваться по гетероатомам N и O сопряженной системы. Конкурентное алкилирование с преимущественным присоединением по атому азота приводит к образованию смеси региоизомерных 1-металлил-4-метилхинолин-2(1H)-она и 2-металлилокси-4-метилхинолина. Последующая гетероциклизация под действием брома или йода является хемоселективной и характеризуется высокими выходами целевых полициклических соединений в виде их солей.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ¹H и ¹³C, а также двумерные эксперименты ¹H–¹³C HSQC и ¹H–¹³C HMBC, записаны на спектрометре Bruker Avance-500 (500 и 126 МГц соответственно) в CD₃CN (соединения **2–4**, **6**) и DMSO-*d*₆ (соединения **5**, **7**). Для спектров ЯМР ¹H внутренний стандарт TMS, в спектрах ЯМР ¹³C химические сдвиги определены относительно сигналов растворителя (1.30 и 39.50 м. д. для CD₃CN и DMSO-*d*₆ соответственно). Масс-спектры записаны на хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra в режиме ионизации ЭУ (70 эВ). Температуры плавления определены на микронагревательном столике Voetius. Элементный анализ выполнен на CHN-анализаторе Carlo Erba EA 1108.

Синтез соединений 2, 3. Последовательно растворяют 70 мг (3 ммоль) Na в 10 мл *i*-PrOH, затем 480 мг (3 ммоль) 4-метилхинолин-2(1H)-она (**1**). К полученному раствору добавляют 0.6 мл (6 ммоль) металлхлорида и кипятят в течение 4 ч. Выпавший осадок

NaCl отфильтровывают, *i*-PrOH отгоняют. Разделение смеси соединений **2** и **3** проводят на препаративной колонке с SiO₂ (элюент EtOAc–гексан, 1:3). Суммарный выход продуктов **2** и **3** (соотношение 5:1) составил 210 мг (33%), вязкое бесцветное масло.

4-Метил-1-(2-метилпроп-2-ен-1-ил)хинолин-2(1H)-он (2). Выход 175 мг. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 1.79 (3H, с, 2'-CH₃); 2.46 (3H, д, *J* = 1.2, 4-CH₃); 4.37–4.38 (1H, м, 3'-CH_A); 4.78 (2H, с, 1'-CH₂); 4.81 (1H, септ, *J* = 1.5, 3'-CH_B); 6.53 (1H, к, *J* = 1.2, H-3); 7.25 (1H, д. д. д, *J* = 8.0, *J* = 7.1, *J* = 1.0, H-6); 7.28 (1H, д. д, *J* = 8.6, *J* = 1.0, H-8); 7.53 (1H, д. д. д, *J* = 8.6, *J* = 7.1, *J* = 1.5, H-7); 7.77 (1H, д. д, *J* = 8.0, *J* = 1.5, H-5). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 19.1 (4-CH₃); 20.3 (2'-CH₃); 47.7 (C-1'); 110.5 (C-3'); 116.4 (C-8); 121.1 (C-3); 122.1 (C-4a); 122.9 (C-6); 126.3 (C-5); 131.3 (C-7); 140.1 (C-8a); 141.1 (C-2'); 148.6 (C-4); 162.4 (C-2). Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 213 [M]⁺ (26), 212 [M–H]⁺ (25), 198 [M–CH₃]⁺ (100), 196 (15), 143 [M–C₄H₆O] (9). Найдено, %: C 78.86; H 7.12; N 6.55. C₁₄H₁₅NO. Вычислено, %: C 78.84; H 7.09; N 6.57.

4-Метил-2-[(2-метилпроп-2-ен-1-ил)окси]хинолин (3). Выход 35 мг. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 1.84 (3H, с, 2'-CH₃); 2.60 (3H, д, *J* = 1.1, 4-CH₃); 4.87 (2H, с, 1'-CH₂); 4.94–4.96 (1H, м, 3'-CH_A); 5.07–5.09 (1H, м, 3'-CH_B); 6.83 (1H, к, *J* = 1.1, H-3); 7.42 (1H, д. д. д, *J* = 8.3, *J* = 6.9, *J* = 1.3, H-6); 7.62 (1H, д. д. д, *J* = 8.3, *J* = 6.9, *J* = 1.5, H-7); 7.74 (1H, д. д, *J* = 8.3, *J* = 1.3, H-8); 7.92 (1H, д. д, *J* = 8.3, *J* = 1.5, H-5). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 18.7 (4-CH₃); 19.8 (2'-CH₃); 69.3 (C-1'); 112.4 (C-3'); 113.6 (C-3); 124.8 (C-6); 124.9 (C-5); 126.3 (C-4a); 128.2 (C-8); 130.4 (C-7); 142.6 (C-2'); 147.2 (C-8a); 148.6 (C-4); 162.5 (C-2). Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 213 [M]⁺ (18), 212 [M–H]⁺ (25), 198 [M–CH₃]⁺ (100), 196 (15), 184 (14), 143 [M–C₄H₆O] (23), 130 (13), 115 (12). Найдено, %: C 78.80; H 7.04; N 6.59. C₁₄H₁₅NO. Вычислено, %: C 78.84; H 7.09; N 6.57.

Синтез триодидов 4, 6. К раствору 87 мг (0.4 ммоль) соединения **2** (или 30 мг (0.14 ммоль) соединения **3**) в 3 мл CHCl₃ добавляют раствор 210 мг (0.8 ммоль) I₂ (или 75 мг (0.3 ммоль) I₂ для соединения **3**) в 3 мл CHCl₃ и выдерживают смесь в течение 24 ч при комнатной температуре. Образовавшийся осадок соединения **4** (или соединения **6**) отфильтровывают, промывают CHCl₃, сушат.

Триодид 2-иодметил-2,5-диметил-1,2-дигидро[1,3]-оксазола[3,2-*a*]хинолина (4). Выход 260 мг (88%), коричневые кристаллы, т. пл. 123–125 °C (с разл.). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 2.01 (3H, с, 2-CH₃); 2.92 (3H, уш. с, 5-CH₃); 3.84 (2H, с, 1'-CH₂); 4.90 (1H, д, *J* = 12.0, 1-CH_A); 4.97 (1H, д, *J* = 12.0, 1-CH_B); 7.40 (1H, уш. с, H-4); 7.85 (1H, д, *J* = 8.5, H-9); 7.86 (1H, д. д. д, *J* = 8.3, *J* = 7.2, *J* = 1.0, H-7); 8.11 (1H, д. д. д, *J* = 8.5, *J* = 7.2, *J* = 1.3, H-8); 8.33 (1H, д. д, *J* = 8.3, *J* = 1.3, H-6). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 12.0 (C-1'); 20.9 (5-CH₃); 25.5 (2-CH₃); 58.0 (C-1); 92.5 (C-2); 109.1 (C-4); 118.3 (C-9); 125.4 (C-5a); 127.8 (C-6); 128.7 (C-7); 134.6 (C-9a); 135.8 (C-8); 160.4 (C-3a); 162.8 (C-5). Найдено, %: C 23.30; H 2.11; N 1.92. C₁₄H₁₅I₄NO. Вычислено, %: C 23.33; H 2.10; N 1.94.

Триодид 1-иодметил-1,5-диметил-1,2-дигидро[1,3]-оксазоло[3,2-а]хинолиния (6). Выход 87 мг (86%), коричневые кристаллы, т. пл. 132–133 °С (с разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.31 (3H, с, 1- CH_3); 2.90 (3H, д, $J = 1.0$, 5- CH_3); 4.00 (1H, д, $J = 12.1$, 1'- CH_A); 4.29 (1H, д, $J = 12.1$, 1'- CH_B); 4.99 (1H, д, $J = 10.0$, 2- CH_A); 5.10 (1H, д, $J = 10.0$, 2- CH_B); 7.40 (1H, уш. к, $J = 1.0$, H-4); 7.86 (1H, д. д. д, $J = 8.3$, $J = 7.2$, $J = 1.0$, H-7); 8.07 (1H, д. д. д, $J = 8.7$, $J = 7.2$, $J = 1.5$, H-8); 8.17 (1H, д, $J = 8.7$, H-9); 8.37 (1H, д. д, $J = 8.3$, $J = 1.5$, H-6). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 12.2 (C-1'); 21.0 (5- CH_3); 24.4 (1- CH_3); 72.3 (C-1); 83.3 (C-2); 109.6 (C-4); 117.1 (C-9); 126.3 (C-5a); 128.8 (C-7); 129.0 (C-6); 133.6 (C-9a); 135.8 (C-8); 162.5 (C-3a); 163.6 (C-5). Найдено, %: C 23.29; H 2.14; N 1.91. $\text{C}_{14}\text{H}_{15}\text{I}_4\text{NO}$. Вычислено, %: C 23.33; H 2.10; N 1.94.

Синтез бромидов 5, 7. К раствору 87 мг (0.4 ммоль) соединения **2** в 3 мл CHCl_3 добавляют раствор 0.05 мл (1 ммоль) Br_2 в 3 мл CHCl_3 и выдерживают смесь в течение 24 ч при комнатной температуре. Выпавший осадок соединения **5** отфильтровывают, промывают Me_2CO и сушат. В случае синтеза соединения **7** из-за малых количеств (5 мг) исходного соединения **3** аналогичный эксперимент был проведен в ампуле ЯМР спектрометра.

Бромид 2-бромметил-2,5-диметил-1,2-дигидро[1,3]-оксазоло[3,2-а]хинолиния (5). Выход 140 мг (92%), бесцветные кристаллы, т. пл. 104–105 °С (с разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.94 (3H, с, 2- CH_3); 2.92 (3H, д, $J = 1.0$, 5- CH_3); 4.19 (1H, д, $J = 11.3$, 1'- CH_A); 4.22 (1H, д, $J = 11.3$, 1'- CH_B); 4.98 (1H, д, $J = 12.0$, 1- CH_A); 5.04 (1H, д, $J = 12.0$, 1- CH_B); 7.78 (1H, уш. с, H-4); 7.89 (1H, д. д. д, $J = 8.3$, $J = 7.2$, $J = 1.0$, H-7); 8.01 (1H, д. д, $J = 8.5$, $J = 1.0$, H-9); 8.16 (1H, д. д. д, $J = 8.5$, $J = 7.2$, $J = 1.3$, H-8); 8.39 (1H, д. д, $J = 8.3$, $J = 1.3$, H-6). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.8 (5- CH_3); 23.5 (2- CH_3); 38.2 (C-1'); 55.8 (C-1); 91.6 (C-2); 108.3 (C-4); 117.8 (C-9); 124.1 (C-5a); 126.8 (C-6); 127.5 (C-7); 133.5 (C-9a); 134.6 (C-8); 159.4 (C-3a); 160.7 (C-5). Найдено, %: C 45.11; H 4.02; N 3.78. $\text{C}_{14}\text{H}_{15}\text{Br}_2\text{NO}$. Вычислено, %: C 45.07; H 4.05; N 3.75.

Бромид 1-бромметил-1,5-диметил-1,2-дигидро[1,3]-оксазоло[3,2-а]хинолиния (7). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.29 (3H, с, 1- CH_3); 2.94 (3H, д, $J = 1.0$, 5- CH_3); 4.36 (1H, д, $J = 12.0$, 1'- CH_A); 4.69 (1H, д, $J = 12.0$, 1'- CH_B); 5.04 (1H, д, $J = 9.8$, 2- CH_A); 5.23 (1H, д, $J = 9.8$, 2- CH_B); 7.71 (1H, уш. к, $J = 1.0$, H-4); 7.88 (1H, д. д. д, $J = 8.3$, $J = 7.2$, $J = 1.0$, H-7); 8.08 (1H, д. д. д, $J = 8.7$, $J = 7.2$, $J = 1.4$, H-8); 8.40 (1H, д. д, $J = 8.3$, $J = 1.4$, H-6); 8.44 (1H, д, $J = 8.7$, H-9). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.9 (5- CH_3); 20.8 (1- CH_3); 37.1 (C-1'); 71.4 (C-1); 80.6 (C-2); 108.7 (C-4); 116.5 (C-9); 124.8 (C-5a); 127.4 (C-7); 127.7 (C-6); 132.4 (C-9a); 134.5 (C-8); 161.4 (C-5); 161.6 (C-3a).

Рентгеноструктурный анализ соединения 6 проведен для фрагмента коричневой призмы $0.37 \times 0.22 \times 0.13$ мм на автоматическом четырехкружном дифрактометре

Xcalibur 3 по стандартной процедуре (MoK α -излучение (λ 0.71073 Å), графитовый монохроматор, ω -сканирование с шагом 1° при 295(2) К). Введена эмпирическая поправка на поглощение. Расшифровка и уточнение структуры проведено с использованием программного пакета SHELXTL.⁷ Структура расшифрована прямым методом и уточнена полноматричным МНК по F^2 в анизотропном для неводородных атомов приближении. Положения атомов водорода рассчитаны геометрически и уточнены по модели "наездник". Основные кристаллографические параметры и результаты уточнения структуры: кристалл моноклинный, пространственная группа $P2_1/c$; a 10.9647(8), b 12.4414(12), c 13.9528(14) Å; β 94.990(7)°; V 1896.2(3) Å³; для вещества брутто-формулы $\text{C}_{14}\text{H}_{15}\text{I}_4\text{NO}$ Z 4; μ 6.570 mm^{-1} . На углах рассеяния $2.80 < \theta < 33.62^\circ$ собрано 21612 отражений, из них 6822 независимых (R_{int} 0.0356). R_1 0.0369, wR_2 0.0777 по отражениям с $I > 2\sigma(I)$, R_1 0.0947, wR_2 0.0839 по всем отражениям, фактор добротности по F^2 1.000, $\Delta\rho_{\text{e}}$ 1.006/–0.887 $\text{e}\text{\AA}^{-3}$. Полный набор рентгеноструктурных данных соединения **6** депонирован в Кембриджском банке структурных данных (депонент CCDC 1857096).

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства РФ (постановление № 211 от 16.03.2013 г., соглашение № 02.A03.21.0011) и в рамках государственного задания (№ 4.9665.2017/8.9) с использованием оборудования Центра коллективного пользования "Спектроскопия и анализ органических соединений".

Список литературы

- (a) Jiang, X.; Liu, H. In *Comprehensive Organic Synthesis II*; Knochel, P.; Molander, G. A., Eds.; Elsevier: Oxford, 2014, vol. 4, p. 412. (b) Godoi, B.; Schumacher, R. F.; Zeni, G. *Chem. Rev.* **2011**, *111*, 2937.
- (a) Gutsulyak, V. M. *Russ. Chem. Rev.* **1972**, *41*, 187. [*Успехи химии* **1972**, 346.] (b) Bishnoi, A.; Tiwari, A. K.; Singh, S.; Sethi, A.; Tripathi, C. M.; Banerjee, B. *Med. Chem. Res.* **2013**, *22*, 3527.
- Abd El-Aal, R. M. *Proc. Indian Acad. Sci., Chem. Sci.* **1999**, *111*, 343.
- (a) Гюльбудагян, Л. В.; Алексанян, И. Л.; Аветисян, А. А. *Армянский хим. журн.* **1989**, *42*, 636. (b) Ukrainets, I. V.; Berezhnyakova, N. L.; Parshikov, V. A.; Turov, A. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2007**, *43*, 1269. [*Химия гетероцикл. соединений* **2007**, 1496.] (c) Ким, Д. Г.; Брисюк, Н. П.; Лыкасова, Е. А. *Изв. вузов. Химия и хим. технология* **1991**, *34*, 120. (d) Ukrainets, I. V.; Sidorenko, L. V.; Gorokhova, O. V.; Shishkina, S. V.; Turov, A. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2007**, *43*, 617. [*Химия гетероцикл. соединений* **2007**, 736.]
- Onysko, M. Yu.; Lendel, V. G. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2007**, *43*, 1020. [*Химия гетероцикл. соединений* **2007**, 1204.]
- Вершинина, Е. А.; Ким, Д. Г. *Вестн. ЮУрГУ. Сер. Хим.* **2010**, *31*, 10.
- Sheldrick, G. M. *Acta Crystallogr., Sect. A: Found. Crystallogr.* **2008**, *A64*, 112.