

## Новый метод синтеза 2-арилхинолин-4(1H)-онов

Николай А. Арутюнов<sup>1</sup>, Анна М. Зацепилина<sup>1</sup>, Анна А. Аксенова<sup>1</sup>,  
Дмитрий А. Аксенов<sup>1</sup>, Александр В. Аксенов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Северо-Кавказский федеральный университет, химический факультет,  
ул. Пушкина, 1а, Ставрополь 355017, Россия; e-mail: aaksenov@ncfu.ru

Поступило 1.07.2024  
Принято 19.07.2024

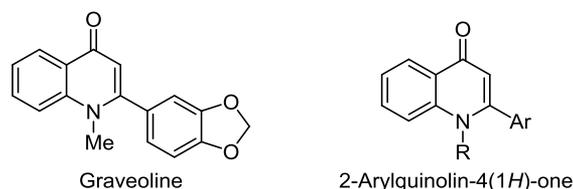


Разработан простой одnoreакторный метод синтеза 2-замещенных хинолин-4(1H)-онов из синтетически доступных 2-(2-арил(алкил)-3-оксоиндолин-2-ил)-2-фенилацетонитрилов.

**Ключевые слова:** индолин-3-оны, хинолин-4(1H)-оны, циклопропан, нуклеофильное присоединение, расширение цикла.

Хинолин-4(1H)-оны представляют собой класс соединений, обладающих в первую очередь высоким спектром антибактериальной активности. Препараты, основанные на данном структурном фрагменте (рис. 1), активно используются в медицине и ветеринарии, особенно в животноводстве и птицеводстве.<sup>1</sup>

Помимо широкого спектра антибактериальных свойств, сообщалось и о других свойствах природных и синтетических производных хинолин-4(1H)-онов, среди которых противовирусная, противопаразитарная, противогрибковая и нейропротекторная активность.<sup>2–4</sup> Так, например, алкалоид гравеолин растительного происхождения вместе с рядом замещенных 2-фенилхинолин-4(1H)-онов (рис. 2) оказался перспективным противораковым агентом,<sup>5–7</sup> действующим на различные этапы (включая апоптоз и аутофагию) жизнедеятельности многих линий опухолевых клеток человека. Данные, полученные в результате обширных исследований биологической активности<sup>8–10</sup> и исследования взаимосвязи структура–активность,<sup>11</sup> позволяют предпо-

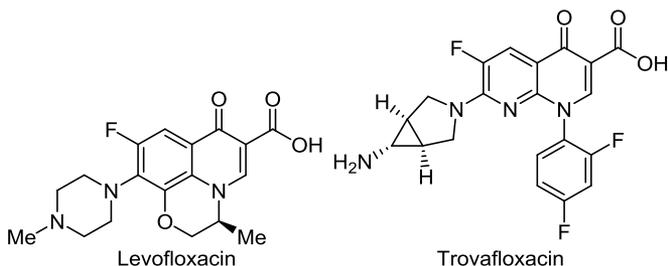


**Рисунок 2.** Структуры гравеолина и производных 2-арилхинолин-4(1H)-она.

жить, что противоопухолевая активность 2-фенилхинолин-4(1H)-онов, вероятно, не связана с каким-то одним положением и возникает в результате сочетания различных заместителей.

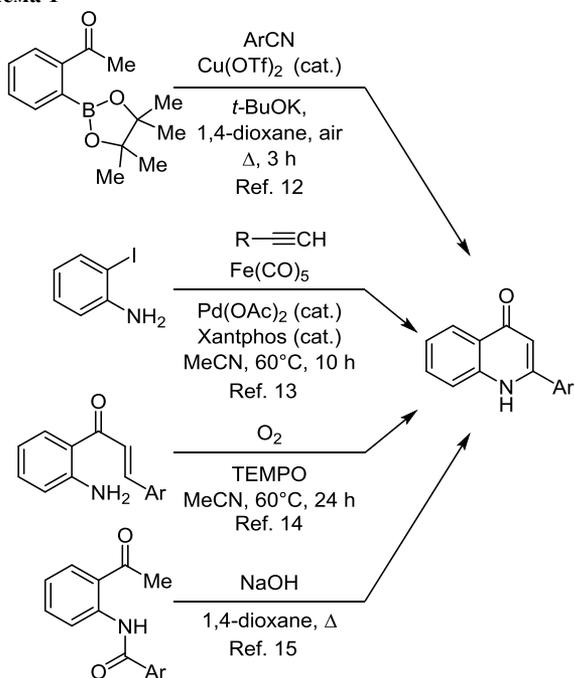
Принимая во внимание привилегированность данных структур, поиск новых методов их синтеза является актуальной задачей для исследования. Существуют несколько классических методов, основанных на нуклеофильной, катализируемой металлами и окислительной циклизациях (схема 1).

Однако представленные методы ограничены низкой толерантностью к функциональным группам и в ряде случаев необходимостью использования комплексов солей переходных металлов. В данной работе мы предлагаем простой одnoreакторный метод синтеза 2-арил(алкил)хинолин-4(1H)-онов обработкой каталитическим количеством основания синтетически легкодоступных 2-(2-арил(алкил)-3-оксоиндолин-2-ил)-2-фенилацетонитрилов **4**, получаемых реакцией спироциклизации индолов **1** с β-нитростиролами **2** в кислой среде<sup>16,17</sup> через интермедиатные спироаддукты **3** (схема 2).



**Рисунок 1.** Фторхинолоны IV поколения.

Схема 1



Несколькими годами ранее нами был описан ряд превращений данных 2-(2-арил(алкил)-3-оксоиндолин-2-ил)-2-фенилацетонитрилов **4** в различные гетероциклы **5–9** под действием восстановительных агентов,<sup>18</sup> азабиноклеофилов,<sup>19,20</sup> *O*-нуклеофилов<sup>21</sup> (схема 3).

Ранее нами также была показана оригинальная перегруппировка<sup>22</sup> *N*-алкил-2-(2-арил-3-оксоиндолин-2-ил)-2-фенилацетонитрилов **4** в 2,3-диарилзамещенные хинолин-4(1*H*)-оны **10**. Данное превращение протекает через депротонирование метиленового протона CH с последующей атакой по карбонильной группе, с образованием циклопропанового интермедиата, раскрытие которого приводит к расширению пиррольного цикла в пиридин-4(1*H*)-оновый (схема 4).

Несмотря на эффективность перегруппировки она имела большой недостаток – необходимость введения *N*-алкильного заместителя, что требует не только дополнительной синтетической стадии алкилирования, но и значительно снижает общий выход, а также неприменимо в случае, если нужен хинолин-4(1*H*)-он со свободным положением 1. Мы предположили, что замена бензилцианидного фрагмента в молекуле исходного цианкетона **4a** на другой, содержащий подвижные протоны CH, позволит осуществить подобную перегруппировку, приводящую к хинолонам **10**, замещен-

Схема 2

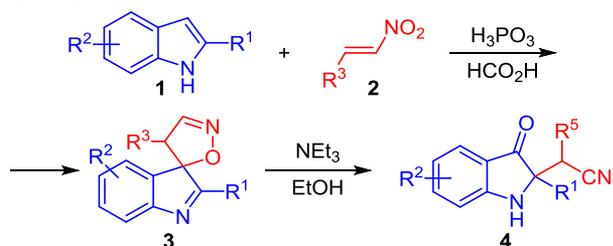
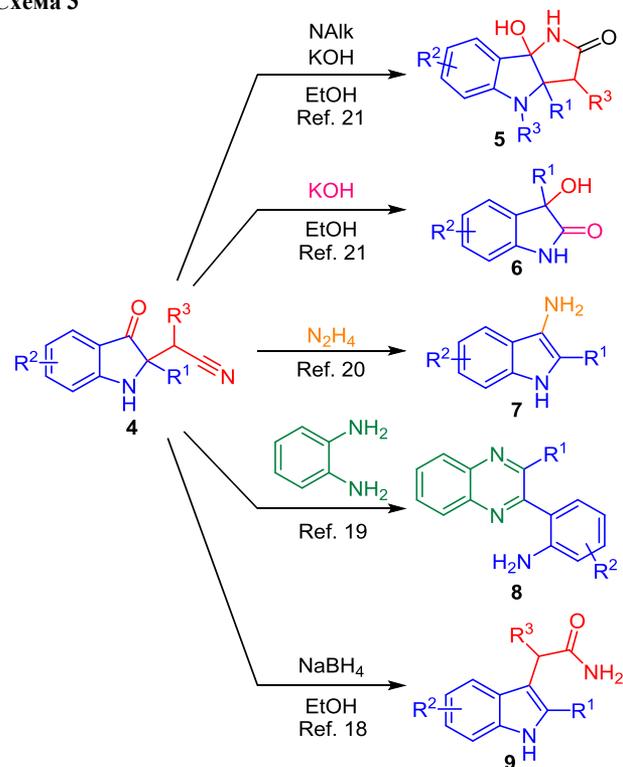


Схема 3



ным по положению 3 акцепторными группами. Учитывая склонность 2-(2-арил-3-оксоиндолин-2-ил)-2-фенилацетонитрилов **4** терять бензилцианидный фрагмент в основной среде, нами была предпринята попытка присоединения ацетофенона (**12**) к образующемуся в таком процессе 3*H*-индол-3-ону **11** с последующей каскадной циклизацией  $\alpha$ -карбонильного углерода 1,4-дикетона **13** по атому C-3 индолона (схема 5). Реакция проводилась в сухом ДМФА, в качестве основания был выбран NaH, так как он успешно показал себя в нашей предыдущей работе.<sup>22</sup>

Однако вместо ожидаемого 3-бензоил-2-фенил-2,3-дигидрохинолин-4(1*H*)-она (**14**), единственным продуктом, обнаруженным в реакционной смеси, был 2-фенилхинолин-4(1*H*)-он (**16**). Вероятным механизмом его образования является типичное для 1,3-дикетонов расщепление по типу ретрореакции Кляйзена, приводящее к 2-фенил-2,3-дигидрохинолин-4(1*H*)-ону (**15**), дальнейшее окисление которого на воздухе приводит к 2-фенилхинолин-4(1*H*)-ону (**16a**) (схема 6).

Схема 4

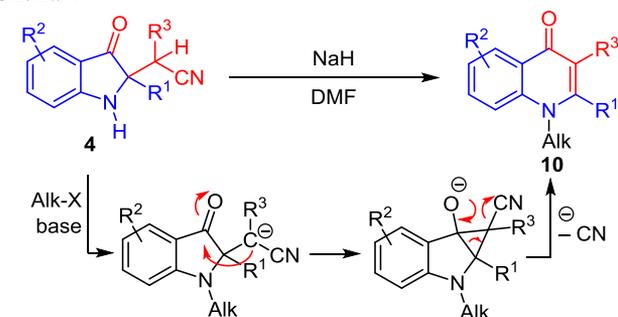


Схема 5

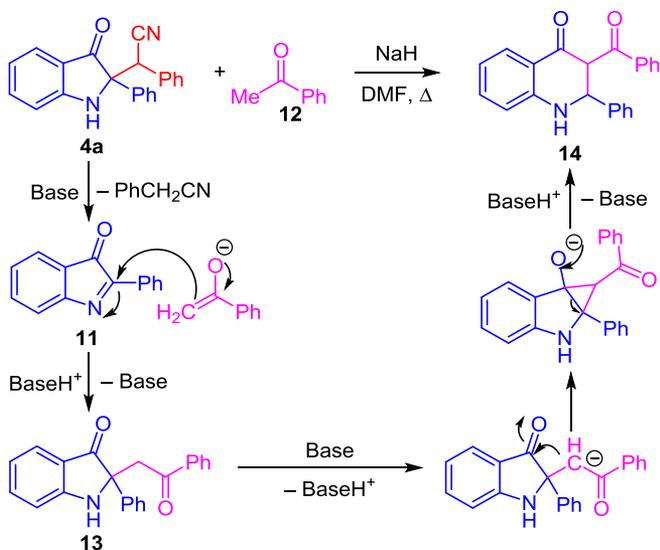
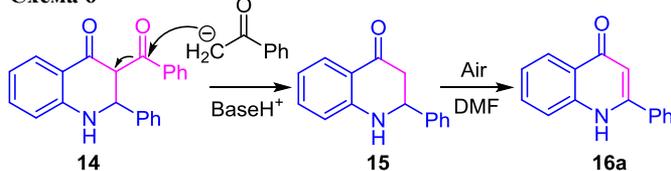


Схема 6



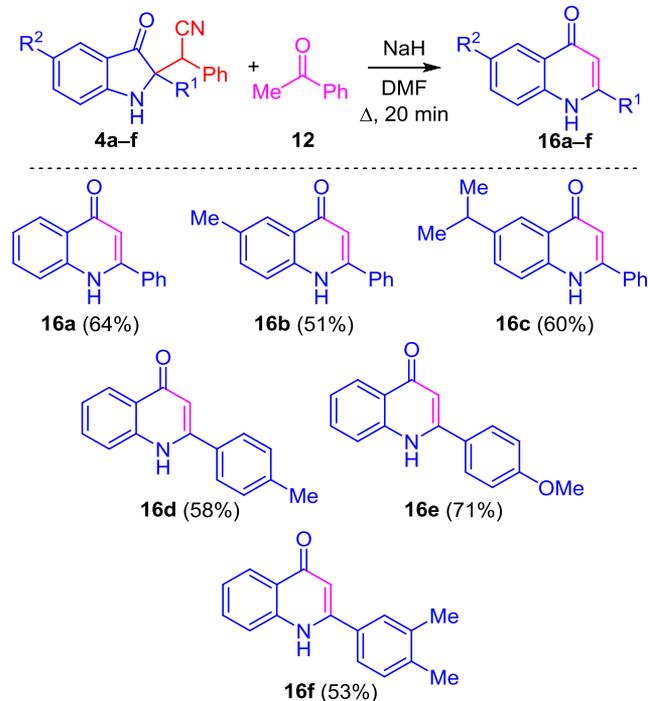
В ходе оптимизации условий реакции нами были предприняты попытки сохранить бензоильный фрагмент путем окисления 3-бензоил-2-фенил-2,3-дигидрохинолин-4(1H)-она (14) до соответствующего 3-бензоил-2-фенил-2,3-хинолин-4(1H)-она. В качестве окислителей были опробованы  $\text{I}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ , DDQ, однако эти попытки привели не к ожидаемому результату, а к уменьшению выхода 2-фенилхинолин-4(1H)-она (16a), либо к полному осмолению реакционной смеси. Попытки уменьшить температуру реакции, заменить основание и растворитель (табл. 1) также оказались неудачными. В растворителях с низкой температурой кипения наблюдалась низкая конверсия 1,4-дикетона 13, что говорит о том, что для внутримолекулярной циклизации с образованием циклопропанового интермедиата необходима температура близкая к температуре кипения ДМФА (153°C).

Установив оптимальные условия, мы синтезировали небольшой ряд 2-арилхинолин-4(1H)-онов 16a–f с хорошими выходами (схема 7). Было выявлено, что введе-

Таблица 1. Оптимизация условий реакции получения 3-бензоил-2-фенил-2,3-дигидрохинолин-4(1H)-она (14)

Основание	Температура, °C	Растворитель	Выход, %
NaH	Кипячение	ДМФА	64
$\text{Cs}_2\text{CO}_3$	Кипячение	ДМФА	49
$\text{Cs}_2\text{CO}_3$	Кипячение	ДМСО	40
$\text{K}_2\text{CO}_3$	Кипячение	EtOH	10
NaH	100	ДМФА	15
NaH	Кипячение	1,4-Диоксан	19

Схема 7



ние электронодонорных заместителей в структуру исходного 2-(2-арил-3-оксоиндолин-2-ил)-2-фенилацетонитрила не оказывало существенного воздействия на скорость протекания и выходы реакций.

Таким образом, в представленной работе показан новый метод синтеза 2-арилхинолин-4(1H)-онов, основанный на оригинальной перегруппировке фенацилзамещенных индоксидов, генерируемых *in situ* из цианбензилиндоксидов. Данный метод расширяет применение методологии функционализации циклических ацилиминов на 3H-индол-3-оны, позволяя осуществить расширение 3-индолонового цикла до 4-пиридинового, что приводит к образованию структур, интересных для дальнейшего изучения биологической активности.

### Экспериментальная часть

ИК спектры записаны на фурье-спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S с приставкой НПВО в тонком слое. Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  зарегистрированы на приборе Bruker Avance III HD (400 и 101 МГц соответственно) в  $\text{DMCO-}d_6$ , внутренний стандарт – остаточные сигналы растворителя (2.50 м. д. для ядер  $^1\text{H}$  и 39.5 м. д. для ядер  $^{13}\text{C}$ ). Масс-спектры высокого разрешения записаны на спектрометре Bruker Maxis Impact с использованием системы прямого ввода, ионизация электрораспылением, калибратор  $\text{HCO}_2\text{Na-HCO}_2\text{H}$ . Контроль за ходом реакций осуществлен методом ТСХ на пластинах ALUGRAM® Xtra SIL G UV 254, элюент EtOAc–гексан, 1:2, проявление в УФ свете. Очистка полученных соединений – на силикагеле Macherey-Nagel 60 (0.04–0.063 мм). Температуры плавления определены на приборе Stuart SMP30.

Исходные 2-(2-арил-3-оксоиндолин-2-ил)-2-фенилацетонитрилы 4a–f получены по ранее описанным мето-

дикам.<sup>16,17</sup> Остальные соединения – коммерчески доступные и использованы без дополнительной очистки.

**Получение 2-арилхинолин-4(1H)-онов 16a–e** (общая методика). В круглодонную колбу объемом 5 мл, снабженную магнитной мешалкой и обратным холодильником, помещают 1.0 ммоль исходного 2-(2-арил-3-оксоиндолин-2-ил)-2-фенилацетонитрила **4a–f**, 1.1 ммоль (132 мг) ацетофенона (**12**) и 2 мл ДМФА. К реакционной смеси, перемешиваемой при комнатной температуре, небольшими порциями добавляют 2 ммоль (80 мг) NaH (60% дисперсия в минеральном масле). После окончания добавления NaH, смесь нагревают до кипения и выдерживают в течение 20 мин. После остывания смесь выливают в H<sub>2</sub>O, подкисляют небольшим количеством HCl. Далее экстрагируют EtOAc (3 × 25 мл), промывают насыщенным раствором NaCl, высушивают над Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Органический слой концентрируют при пониженном давлении и очищают колоночной хроматографией на силикагеле (элюент EtOAc–гексан, 3:1).

**2-Фенилхинолин-4(1H)-он (16a)**. Выход 141 мг (64%), бежевый порошок, т. пл. 239–240°C (т. пл. 240–242°C<sup>23</sup>), R<sub>f</sub> 0.17 (EtOAc–гексан, 4:1). ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 845, 1139, 1264, 1354, 1508, 1536, 1644, 2827, 2975, 3070. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. (J, Гц): 6.35 (1H, с, H Ar); 7.34 (1H, т, J = 7.4, H Ar); 7.56–7.60 (3H, м, H Ar); 7.65–7.70 (1H, м, H Ar); 7.78 (1H, д, J = 8.3, H Ar); 7.81–7.85 (2H, м, H Ar); 8.11 (1H, д, J = 8.0, H Ar); 11.77 (1H, с, NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 107.4; 118.8; 123.4; 124.8; 124.9; 127.5 (2C); 129.1 (2C); 130.6; 131.9; 134.3; 140.6; 150.1; 177.1 (C=O). Найдено, m/z: 222.0910 [M+H]<sup>+</sup>. C<sub>15</sub>H<sub>12</sub>NO. Вычислено, m/z: 222.0913.

**6-Метил-2-фенилхинолин-4(1H)-он (16b)**. Выход 120 мг (51%), бледно-желтый порошок, т. пл. 290–291°C (т. пл. 287–289°C<sup>24</sup>), R<sub>f</sub> 0.22 (EtOAc–гексан, 4:1). ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1503, 1540, 1657, 1731, 1742, 1917, 2929. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. (J, Гц): 2.42 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 6.30 (1H, с, H Ar); 7.50 (1H, д, д, J = 8.5, J = 1.8, H Ar); 7.56–7.60 (3H, м, H Ar); 7.67 (1H, д, J = 8.4, H Ar); 7.80–7.85 (2H, м, H Ar); 7.89 (1H, с, H Ar); 11.68 (1H, с, NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 20.8 (CH<sub>3</sub>); 107.1; 118.7; 124.0; 124.6; 127.4 (2C); 129.1 (2C); 130.4; 132.6; 133.3; 134.3; 138.6; 149.6; 176.8 (C=O). Найдено, m/z: 236.1070 [M+H]<sup>+</sup>. C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>NO. Вычислено, m/z: 236.1070.

**6-Изопропил-2-фенилхинолин-4(1H)-он (16c)**. Выход 158 мг (60%), белый порошок, т. пл. 278–279°C, R<sub>f</sub> 0.28 (EtOAc–гексан, 4:1). ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 832, 1141, 1256, 1496, 1542, 1579, 1593, 1638, 2968. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. (J, Гц): 1.24 (6H, д, J = 6.4, 2CH<sub>3</sub>); 2.95–3.05 (1H, м, CH); 6.34 (1H, с, H Ar); 7.57 (4H, с, H Ar); 7.72 (1H, д, J = 7.9, H Ar); 7.83 (2H, с, H Ar); 7.95 (1H, с, H Ar); 11.74 (1H, с, NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 23.9 (2CH<sub>3</sub>); 33.2 (CH); 107.0; 118.9; 121.1; 124.8; 127.4 (2C); 129.0 (2C); 130.4; 131.0; 134.3; 139.0; 143.5; 149.7; 177.0 (C=O). Найдено, m/z: 264.1384 [M+H]<sup>+</sup>. C<sub>18</sub>H<sub>18</sub>NO. Вычислено, m/z: 264.1383.

**2-(n-Толлил)хинолин-4(1H)-он (16d)**. Выход 136 мг (58%), бежевый порошок, т. пл. 263–264°C (т. пл. 260–261°C<sup>23</sup>), R<sub>f</sub> 0.17 (EtOAc–гексан, 4:1). ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 811, 1020, 1143, 1249, 1443, 1470, 1498, 1539, 1578, 1593, 1632, 2802, 2894, 3063. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. (J, Гц):

2.40 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 6.33 (1H, с, H Ar); 7.33 (1H, т, J = 7.3, H Ar); 7.39 (2H, д, J = 8.0, H Ar); 7.64–7.69 (1H, м, H Ar); 7.74 (2H, д, J = 8.1, H Ar); 7.77 (1H, д, J = 8.4, H Ar); 8.09 (1H, д, д, J = 8.1, J = 1.2, H Ar); 11.67 (1H, с, NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 21.0 (CH<sub>3</sub>); 107.0; 118.7; 123.3; 124.8; 124.9; 127.3 (2C); 129.6 (2C); 131.3; 131.8; 140.4; 140.6; 150.0; 177.0 (C=O). Найдено, m/z: 236.1072 [M+H]<sup>+</sup>. C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>NO. Вычислено, m/z: 236.1070.

**2-(4-Метоксифенил)хинолин-4(1H)-он (16e)**. Выход 178 мг (71%), серый порошок, т. пл. 284–285°C (т. пл. 288–290°C<sup>23</sup>), R<sub>f</sub> 0.14 (EtOAc–гексан, 4:1). ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1025, 1249, 1539, 1574, 1615, 1650, 1689, 1872, 2855, 2918. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. (J, Гц): 3.84 (3H, с, OCH<sub>3</sub>); 6.31 (1H, с, H Ar); 7.13 (2H, д, J = 8.9, H Ar); 7.32 (1H, т, J = 7.3, H Ar); 7.63–7.67 (1H, м, H Ar); 7.77 (1H, д, J = 8.3, H Ar); 7.81 (2H, д, J = 8.7, H Ar); 8.08 (1H, д, д, J = 8.1, J = 1.3, H Ar); 11.62 (1H, с, NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 55.5 (OCH<sub>3</sub>); 106.5; 114.4 (2C); 118.7; 123.2; 124.7; 124.8; 126.3; 128.9; 131.7 (2C); 140.5; 149.7; 161.1; 176.9 (C=O). Найдено, m/z: 252.1015 [M+H]<sup>+</sup>. C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>NO<sub>2</sub>. Вычислено, m/z: 252.1019.

**2-(3,4-Диметилфенил)хинолин-4(1H)-он (16f)**. Выход 132 мг (53%), коричневый порошок, т. пл. 233–234°C (т. пл. 229–231°C<sup>23</sup>), R<sub>f</sub> 0.25 (EtOAc–гексан, 4:1). ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1021, 1140, 1258, 1360, 1435, 1470, 1495, 1544, 1583, 1597, 1634, 2855, 2918, 3258. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. (J, Гц): 2.30 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 2.33 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 6.32 (1H, с, H Ar); 7.33 (2H, т, J = 7.3, H Ar); 7.56 (1H, д, J = 7.8, H Ar); 7.63 (1H, с, H Ar); 7.64–7.69 (1H, м, H Ar); 7.77 (1H, д, J = 8.3, H Ar); 8.09 (1H, д, д, J = 8.1, J = 1.2, H Ar); 11.65 (1H, с, NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 19.4 (CH<sub>3</sub>); 19.5 (CH<sub>3</sub>); 106.9; 118.7; 123.2; 124.8; 124.9 (2C); 128.2; 130.1; 131.6; 131.8; 137.1; 139.2; 140.6; 150.1; 177.0 (C=O). Найдено, m/z: 250.1225 [M+H]<sup>+</sup>. C<sub>17</sub>H<sub>16</sub>NO. Вычислено, m/z: 250.1226.

Файл сопроводительных материалов, содержащий спектры ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C и масс-спектры высокого разрешения соединений **16a–f**, доступен на сайте журнала <http://hgs.osi.lv>.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 21-73-20051 (<https://rscf.ru/project/23-73-01025/>).

### Список литературы

1. Millanao, A. R.; Mora, A. Y.; Villagra N. A.; Bucarey, S. A.; Hidalgo, A. A. *Molecules* **2021**, *26*, 7153.
2. Dhiman, P.; Arora, N.; Thanikachalam, P. V.; Monga, V. *Bioorg. Chem.* **2019**, *92*, 103291.
3. Dube, P. S.; Legoabe, L. J.; Beteck, R. M. *Mol. Diversity* **2023**, *27*, 1501.
4. Dine, I.; Mulugeta, E.; Melaku, Y.; Belete, M. *RSC Adv.* **2023**, *13*, 8657.
5. Shen, L.; Chen, Y.-L.; Huang, C.-C.; Shyu, Y.-C.; Seftor, R. E. B.; Seftor, E. A.; Hendrix, M. J. C.; Chien, D.-S.; Chu, Y.-W. *Pathol. Oncol. Res.* **2023**, *29*, 1611038.
6. Nakamura, S.; Kozuka, M.; Bastow, K. F.; Tokuda, H.; Nishino, H.; Suzuki, M.; Tatsuzaki, J.; Natschke, S. L. M.; Kuo, S.-C.; Lee, K.-H. *Bioorg. Med. Chem.* **2005**, *13*, 4396.

7. Lai, Y.-Y.; Huang, L.-J.; Lee, K.-H.; Xiao, Z.; Bastow, K. F.; Yamori, T.; Kuo, S.-C. *Bioorg. Med. Chem.* **2005**, 13, 265.
8. Li, L.; Wang, H.; Kuo, S.; Wu, T.; Mauger, A.; Lin, C. M.; Hamel, E.; Lee, K.-H. *J. Med. Chem.* **1994**, 37, 3400.
9. Hamel, E.; Lin, C. M.; Plowman, J.; Wang, H.-K.; Lee, K.-H.; Paull, K. D. *Biochem. Pharmacol.* **1996**, 51, 53.
10. Kuo, S. C.; Lee, H. Z.; Juang, J. P.; Lin, Y. T.; Wu, T. S.; Chang, J. J.; Lednicer, D.; Paull, K. D.; Lin, C. M.; Hamel, E.; Lee, K. H. *J. Med. Chem.* **1993**, 36, 1146.
11. Boteva, A. A.; Krasnykh, O. P. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2009**, 45, 757.
12. Tummanapalli, S.; Gulipalli, K. C.; Bodige, S.; Pommidi, A. K.; Boya, R.; Choppadandi, S.; Bakangari, M. R.; Punna, S. K.; Medaboina, S.; Mamindla, D. Y.; Kanuka, A.; Endoori, S.; Ganapathi, V. K.; Dharmavaram, S.; Kalbhor, D.; Valluri, M. *J. Org. Chem.* **2024**, 89, 1609.
13. Guo, M.; Wu, D.; Yang, H.; Zhang, X.; Xue, D.-X.; Zhang, W. *Molecules* **2024**, 29, 850.
14. Singh, A.; Singh, S.; Ghosh, K.; Ahmed, N. *Synthesis* **2023**, 4191.
15. Jones, C. P.; Anderson, K. W.; Buchwald, S. L. *J. Org. Chem.* **2007**, 72, 7968.
16. Aksenov, A. V.; Aksenov, D. A.; Aksenov, N. A.; Aleksandrova, E. V.; Rubin, M. *J. Org. Chem.* **2019**, 84, 12420.
17. Zlotin, S. G.; Egorova, K. S.; Ananikov, V. P.; Akulov, A. A.; Varaksin, M. V.; Chupakhin, O. N.; Charushin, V. N.; Bryliakov, K. P.; Averin, A. D.; Beletskaya, I. P.; Dolengovski, E. L.; Budnikova, Yu. H.; Sinyashin, O. G.; Gafurov, Z. N.; Kantyukov, A. O.; Yakhvarov, D. G.; Aksenov, A. V.; Elinson, M. N.; Nenajdenko, V. G.; Chibiryaev, A. M.; Nesterov, N. S.; Kozlova, E. A.; Martyanov, O. N.; Balova, I. A.; Sorokoumov, V. N.; Guķ, D. A.; Beloglazkina, E. K.; Lemenovskii, D. A.; Chukicheva, I. Yu.; Frolova, L. L.; Izmet's'ev, E. S.; Dvornikova, I. A.; Popov, A. V.; Kutchin, A. V.; Borisova, D. M.; Kalinina, A. A.; Muzafarov, A. M.; Kuchurov, I. V.; Maximov, A. L.; Zolotukhina, A. V. *Russ. Chem. Rev.* **2023**, 92, RCR5104.
18. Aksenov, A. V.; Kirilov, N. K.; Arutiunov, N. A.; Aksenov, D. A.; Kuzminov, I. K.; Aksenov, N. A.; Turner, D. N.; Rogelj, S.; Kornienko, A.; Rubin, M. *J. Org. Chem.* **2022**, 87, 13955.
19. Aksenov, A. V.; Arutiunov, N. A.; Aksenov, D. A.; Samovolov, A. V.; Kurenkov, I. A.; Aksenov, N. A.; Aleksandrova, E. A.; Momotova, D. S.; Rubin, M. *Int. J. Mol. Sci.* **2022**, 23, 11120.
20. Aksenov, N. A.; Arutiunov, N. A.; Kurenkov, I. A.; Malyuga, V. V.; Aksenov, D. A.; Momotova, D. S.; Zatsopilina, A. M.; Chukanova, E. A.; Leontiev, A. V.; Aksenov, A. V. *Molecules* **2023**, 28, 3657.
21. Aksenov, A. V.; Aleksandrova, E. V.; Aksenov, D. A.; Aksenova, A. A.; Aksenov, N. A.; Nobi, M. A.; Rubin, M. *J. Org. Chem.* **2022**, 87, 1434.
22. Aksenov, A. V.; Arutiunov, N. A.; Zatsopilina, A. M.; Aksenova, A. A.; Aleksandrova, E. V.; Aksenov, N. A.; Leontiev, A. V.; Aksenov, D. A. *Synthesis* **2024**, 435.
23. Ma, H.; Guo, C.; Zhan, Z.; Lu, G.; Zhang, Y.; Luo, X.; Cui, X.; Huang, G. *New J. Chem.* **2017**, 41, 5280.
24. Romek, A.; Opatz, T. *Eur. J. Org. Chem.* **2010**, 30, 5841.