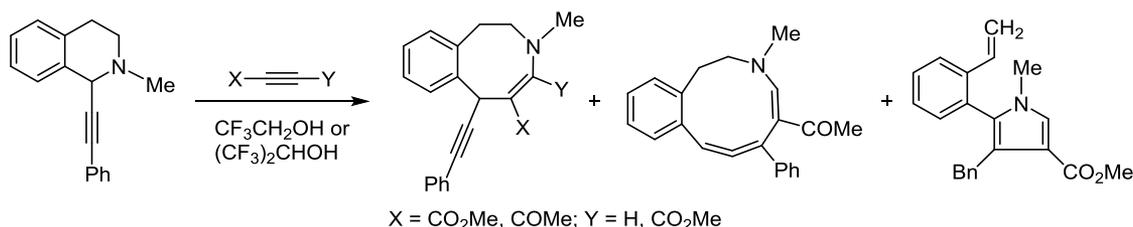


Трансформация 2-метил-1-фенилэтинил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолина с участием активированных алкинов

Леонид Г. Воскресенский^{1*}, Реза Самавати¹, Александр А. Титов¹,
Елена В. Александрова¹, Наталья Ю. Черникова¹, Алексей В. Варламов¹

¹ Российский университет дружбы народов,
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва 117198, Россия
e-mail: lvoskressensky@sci.pfu.edu.ru

Поступило 11.04.2018
Принято 26.04.2018



Изучены превращения 2-метил-1-фенилэтинил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолина в результате взаимодействия с активированными алкинами в трифторэтанол и гексафторизопропанол. В реакциях с диметилацетилендикарбоксилатом получены 6-фенилэтинилзамещенные бензазоцины, в реакциях с метилпропиолатом и ацетилацетиленом, кроме соответствующих бензазоцинов, выделены метил-4-бензил-1-метил-5-(2-этилфенил)-1*H*-пиррол-3-карбоксилат и бензо[*d*][3]азациклодека[4,6,7]триен с алленовым фрагментом соответственно. Как правило, в гексафторизопропанол выходы азоцинов выше. В реакции с ацетилацетиленом в дихлорметане образуется 1-(2-ацетилвинил)-1-фенилэтинилтетрагидроизохинолин с высоким выходом.

Ключевые слова: азациклический аллен, ацетилацетилен, диметилацетилендикарбоксилат, метилпропиолат, 6-(фенилэтинил)-бензазоцины, фенилэтинилтетрагидроизохинолин, расширение цикла.

В литературе описаны немногочисленные примеры синтеза средних циклов из α -этинилзамещенных азотсодержащих гетероциклов: изохинолинов, пиперидинов, азепинов. Так, при воздействии на 1-фенилэтинил-6-метил-4-метокси[1,2]диоксо[4,5-*g*]изохинолин метилпропиолатом или ацетилацетиленом в трифторэтанол с высокими выходами образуются бензазоцины **A**¹ (рис. 1).

В трехкомпонентной реакции хлорида котарнина с фенилацетиленидом серебра и метилпропиолатом или ацетилацетиленом в MeCN образуются смеси бенз-

азоцинов **A** и пирроло[2,1-*a*]изохинолинов **B** с двумя функциональными группами в положениях 1 и 2.¹ Описан синтез азацино[5,4-*b*]индолов **C** (рис. 1) из 1-фенилэтинилзамещенных β -карболинов и активированных алкинов в ацетонитриле.²

Соли 1-метил-6-этинил-1-этоксикарбонилметил-1,2,5,6-тетрагидропиридиния под действием ДБУ в результате [2,3]-сигматропной перегруппировки дают азациклонона-3,6,7-триены **D**.³ [3,3]-Сигматропная перегруппировка приводит к получению 3-хлор-1-азадека-(ундека)диенонов **E** из 1-метил-2-(фенилэтинил)-

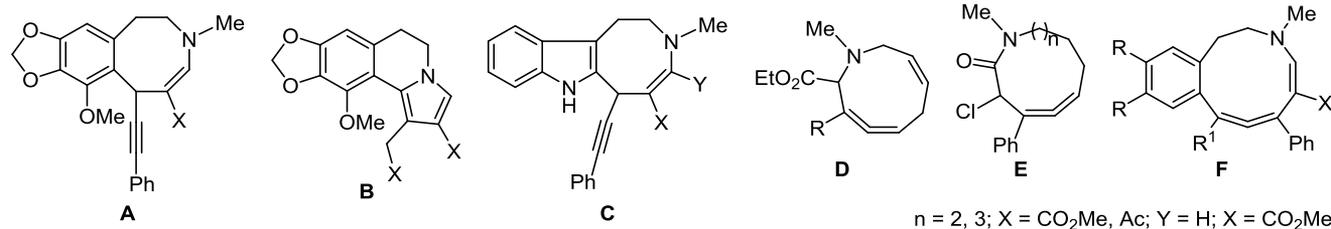
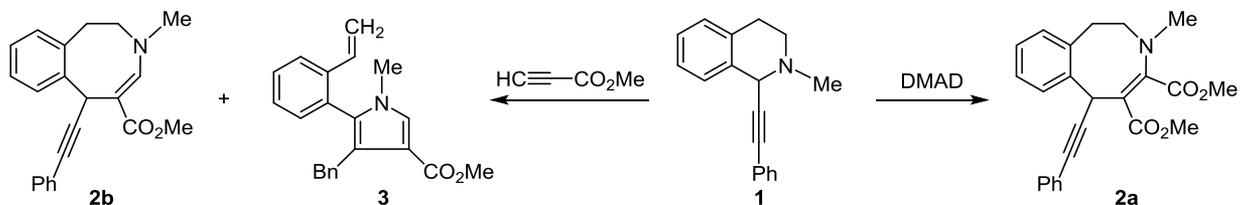


Рисунок 1. Продукты трансформаций α -алкинилзамещенных конденсированных и неконденсированных пиридинов.

Схема 1



пиперидина(азепина) и хлорацетилфторида.⁴ Нами описан синтез бензазацинов **F** (рис. 1) из 1-замещенных 2-метил-1-фенилэтинил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолинов и активированных алкинов.⁵ На примере тетразолилзамещенных 1,2,3,4-тетрагидроизохинолинов было показано, что наличие в ароматической части молекулы кислородсодержащих заместителей способствует расширению тетрагидропиридинового фрагмента до азоцинового.⁶ Аналогично реагируют с активированными алкинами диоксилиламещенные изохинолины в синтезе соединений **A**.

Продолжая исследования в этом направлении, мы изучили пути трансформации 2-метил-1-фенилэтинил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолина (**1**) с участием диметилацетилендикарбоксилата (ДМАД), метилпропиолата и ацетилацетилена в трифторэтаноле и гексафторизопропаноле. Изохинолин **1** получен в виде рацемата фенилэтинилированием иодметилата 3,4-дигидроизохинолина по известному методу.⁷ Соединение **1** реагирует с активированными алкинами по многим направлениям, образуя многокомпонентные смеси, которые были разделены хроматографически. И в трифторэтаноле, и в гексафторизопропаноле при 20 °С изохинолин **1** реагирует с ДМАД с образованием бензазацина **2a** (схема 1). Метилпропиолат реагирует аналогично. При этом, кроме бензазацина **2b**, в трифторэтаноле образуется еще и метил-4-бензил-1-метил-5-(2-этинилфенил)-1*H*-пиррол-3-карбоксилат (**3**). Проведение реакции в гексафторизопропаноле позволяет увеличить выходы азоцинов **2a,b** на 12–20% (табл. 1).

Ацетилацетилен реагирует с изохинолином **1** в трифторэтаноле при –17 и при 20 °С, образуя бензазацин **2c** с высоким выходом, причем при низкой температуре выход азоцина выше. В реакции в гексафторизопропаноле выход продукта **2c** резко снижается. В реакциях в трифторэтаноле и гексафторизопропаноле с небольшими выходами выделен бензоазациклодекатриен **4**, структурный аналог соединения **F**⁵ (табл. 1). При проведении реакции изохинолина **1** в плохо сольватирующем растворителе CH_2Cl_2 происходит только

Таблица 1. Выходы продуктов реакции изохинолина **1** с активированными алкинами в зависимости от растворителя и температуры, %

Растворитель	Температура, °С	Азоцины			Метилпиррол 3	Бензоазациклодекатриен 4
		2a	2b	2c		
$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH}$	20	32	28	53	7	8
	–17		34	75	5	4
$\text{CF}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CF}_3$	20	52	40	–	–	10
	7			19		13

перегруппировка Стивенса, в результате которой с высоким выходом образуется изохинолин **5** (схема 2).

Мы предполагаем следующий механизм образования выделенных продуктов (схема 3). Превращение начинается с образования цвиттер-иона **I**, который может находиться в равновесии нециклической и раскрытой форм. Атака анионного центра на атом С-1 и взаимодействие ионов приводят к образованию бензазацинов **2a–c** (путь *a*). Атака анионного центра на α -положение фенилэтинильного заместителя завершается замыканием пиррольного цикла и через интермедиаты **II** и **III** и [1,3]-сдвиг водорода приводит к образованию соединения **3** (путь *b*). [3,3]-Сигматропная перегруппировка в цвиттер-ионе **I** приводит к образованию бензоазациклодекатриена **4** (путь *c*). В дихлорметане образуется ирид **IV**, который перегруппировывается в изохинолин **5**.

Строение соединений **2–5** подтверждено комплексом спектральных данных. В спектрах ЯМР ¹H азоцинов **2a–c** отмечается синглетный сигнал протона 6-СН в области 5.79–6.20 м. д., в спектрах соединений **2b,c** фиксируется сигнал енаминного протона 4-СН при 7.51 и 7.34 м. д. соответственно. Спектр ЯМР ¹H бензоазациклодекатриена **4** характеризуется наличием двух синглетных сигналов протонов 8-СН при 6.56 м. д. и 4-СН при 7.72 м. д. В спектре ЯМР ¹³C соединения **4** наблюдается характеристичный сигнал четвертичного атома углерода алленовой системы при 210.3 м. д.

Схема 2

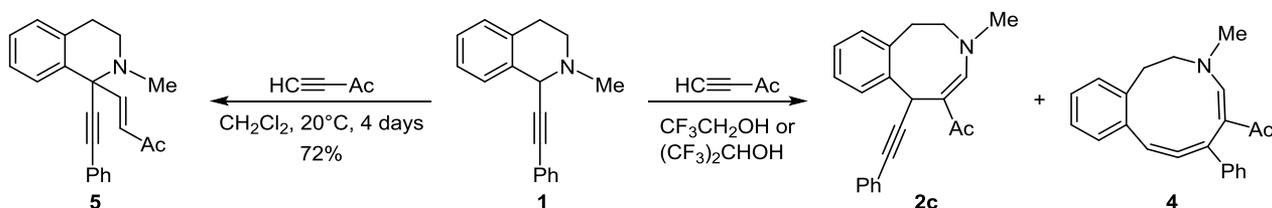
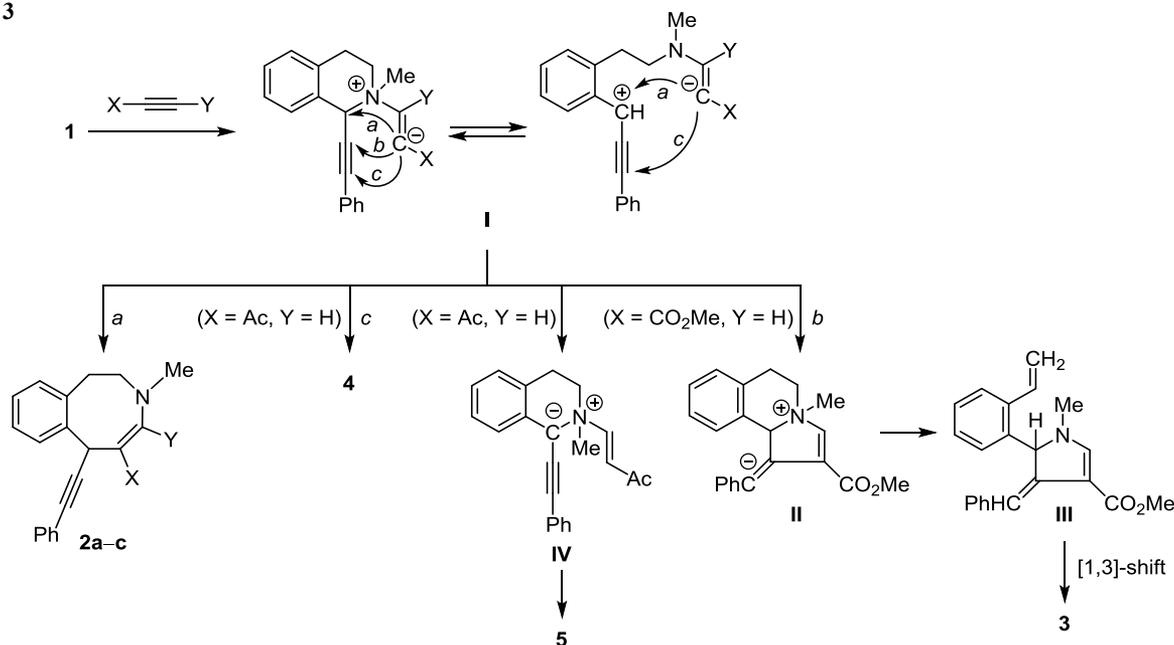


Схема 3



Таким образом, нами показано, что направление трансформаций 1-фенилэтилизохинолина в результате взаимодействий с активированными алкинами протекает по многим направлениям. Основным направлением превращений является образование бензазоцинов. Другие пути трансформаций зависят от природы заместителей в алкине, а также от растворителей.

Экспериментальная часть

ИК спектры соединений зарегистрированы на фурье-спектрометре Инфралом ФТ-801 в таблетках с КВг. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C зарегистрированы на приборе JEOL JNM-ENM 600 (600 и 150 МГц соответственно) в CDCl_3 и $\text{DMCO}-d_6$. Внутренний стандарт – остаточные сигналы растворителя (в спектрах ЯМР ^1H – 7.26 м. д. для CHCl_3 , 2.50 м. д. для DMCO , а в спектрах ЯМР ^{13}C – 77.2 м. д. для CDCl_3 , 39.5 м. д. для $\text{DMCO}-d_6$). Хромато-масс-спектры записаны на системе, включающей жидкостный хроматограф и масс-спектрометр Shimadzu LCMS-8040 (ионизация электрораспылением). Элементный анализ выполнен на CHNS-анализаторе Euro Vector EA-3000. Температуры плавления определены в открытых капиллярах на приборе SMP 10. Для тонкослойной хроматографии использованы пластины Sorbfil и Alufol, проявление парами иода или раствором перманганата калия. Для колоночной хроматографии использован силикагель 40–60 μm , 60 Å.

Все растворители перед применением очищены перегонкой. ДМАД, метилпропионат и ацетилацетилен фирмы Acros Organics использованы без дополнительной очистки.

Получение диметил-(4E)-3-метил-6-(фенилэтил)-1,2,3,6-тетрагидро-3-бензазоцин-4,5-дикарбоксилата (2a) реакцией изохинолина 1 с ДМАД в растворах фторированных спиртов. К раствору 0.40 г (1.6 ммоль) изохинолина **1** в 8 мл $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH}$ или $\text{CF}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CF}_3$ добавляют 0.59 г (4.1 ммоль) ДМАД.

Реакционную смесь перемешивают при 20 °C в течение 15 ч в $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH}$ или в течение 10 ч в $\text{CF}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CF}_3$. Контроль за ходом реакций осуществляют методом ТСХ (гексан– AcOEt , 3:1). Растворитель упаривают при пониженном давлении, остаток очищают с помощью колоночной хроматографии на SiO_2 (гексан– AcOEt , 10:1). Выход 0.20 г (32%, в $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH}$), 0.33 г (52%, в $\text{CF}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CF}_3$). Желтое масло. R_f 0.56 (гексан– AcOEt , 3:1). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1717 (CO), 1738 (CO), 2219 ($\text{C}\equiv\text{C}$). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.63 (3H, с, NCH_3); 3.17 (1H, д. д. д., $J = 8.1$, $J = 11.8$, $J = 15.5$) и 3.54 (1H, д. д. д., $J = 1.0$, $J = 8.1$, $J = 15.5$, 1- CH_2); 3.71–3.73 (1H, м, 2- CH_2); 3.76 (3H, с, OCH_3); 3.77 (3H, с, OCH_3); 4.71–4.76 (1H, м, 2- CH_2); 5.79 (1H, с, 6-CH); 7.15–7.16 (1H, м, H Ar); 7.18–7.21 (1H, м, H Ar); 7.23–7.24 (2H, м, H Ar); 7.26–7.28 (3H, м, H Ar); 7.35–7.37 (2H, м, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. 34.3; 37.7; 37.8; 51.6; 52.3; 55.2; 60.1; 80.8; 90.4; 123.3; 126.9; 127.3; 127.5; 127.9 (2C); 130.7; 131.1; 131.2 (2C); 136.5; 136.8; 155.7; 166.4; 168.0. Масс-спектр, m/z : 390 $[\text{M}+\text{H}]^+$. Найдено, %: C 74.16; H 6.18; N 3.70. $\text{C}_{24}\text{H}_{23}\text{NO}_4$. Вычислено, %: C 74.02; H 5.95; N 3.60.

Получение бензазоцина 2b и метилпиррола 3 реакцией изохинолина 1 с метилпропионатом в растворах фторированных спиртов. Метод I. К раствору 0.50 г (2.02 ммоль) изохинолина **1** в 10 мл $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH}$ или $\text{CF}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CF}_3$ добавляют 0.40 г (5.06 ммоль) метилпропионата. Реакционную смесь перемешивают при 20 °C в течение 35 ч. Контроль за ходом реакций осуществляют методом ТСХ (алуфол, гексан– AcOEt , 5:1). Растворитель упаривают при пониженном давлении, остаток хроматографируют на колонке с силикагелем. Последовательно элюируют бензазоцин **2b** (гексан– AcOEt , 12:1) и 1-метилпиррол **3** (гексан– AcOEt , 7:1), которые кристаллизуют из смеси гексан– AcOEt .

Метод II. Реакционную смесь 0.20 г (0.80 ммоль) изохинолина **1** и 0.14 г (1.6 ммоль) метилпропионата в 5 мл $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH}$ выдерживают в течение 50 ч при –17 °C.

Метил-(4E)-3-метил-6-(фенилэтинил)-1,2,3,6-тетрагидро-3-бензазацин-5-карбоксилат (2b). Выход 190 мг (28%, метод I, в трифторэтанол), 270 мг (40%, метод I, в гексафторизопропанол), 91 мг (34%, метод II). Бесцветные кристаллы. Т. пл. 123–125 °С (гексан–АсОEt, 12:1). R_f 0.56 (гексан–АсОEt, 3:1). ИК спектр, ν , см^{-1} : 1666 (CO), 2219 (C≡C). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.99 (3H, с, NCH₃); 3.22–3.26 (1H, м) и 3.27–3.32 (1H, м, 1-CH₂); 3.66 (1H, д, $J = 5.5$, $J = 15.8$, 2-CH₂); 3.76 (3H, с, OCH₃); 5.14–5.19 (1H, м, 2-CH₂); 5.85 (1H, с, 6-CH); 7.17–7.22 (4H, м, H Ar); 7.27–7.28 (3H, м, H Ar); 7.37–7.39 (2H, м, H Ar); 7.51 (1H, с, 4-CH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. 36.1; 36.2; 43.6; 51.3; 52.3; 81.0; 93.0; 97.5; 123.8; 126.7; 127.4; 127.6; 128.1 (2C); 131.0; 131.3 (2C); 131.7; 136.4; 138.4; 154.1; 169.5. Масс-спектр, m/z : 332 [M+H]⁺. Найдено, %: С 79.57; Н 6.56; N 4.20. C₂₂H₂₁NO₂. Вычислено, %: С 79.73; Н 6.39; N 4.23.

Метил-4-бензил-1-метил-5-(2-этиленфенил)-1H-пиррол-3-карбоксилат (3). Выход 47 мг (7%, метод I, в трифторэтанол), 13 мг (5%, метод II). Бесцветные кристаллы. Т. пл. 125–127 °С (EtOAc–гексан, 1:7). R_f 0.58 (EtOAc–гексан, 1:5). ИК спектр, ν , см^{-1} : 1710 (CO). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.31 (3H, с, NCH₃); 3.67 (3H, с, OCH₃); 3.90 (2H, с, CH₂Ph); 5.27 (1H, д, $J = 1.1$, $J = 11.0$) и 5.60 (1H, д, $J = 1.1$, $J = 17.3$, HC=CH₂); 6.77 (1H, д, $J = 7.4$, H Ar); 6.90 (1H, д, $J = 11.0$, $J = 17.3$, HC=CH₂); 7.14–7.20 (2H, м, H Ar); 7.21–7.23 (1H, м, H Ar); 7.26–7.29 (4H, м, H Ar); 7.34 (1H, с, H-2); 7.44 (1H, д, $J = 1.3$, $J = 7.5$, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. 27.5; 34.5; 50.7; 112.5; 116.4; 125.5; 126.0; 126.4; 126.6; 127.5; 127.6 (2C); 127.9; 128.1; 129.4; 130.1 (2C); 134.1; 134.9; 136.0; 136.6; 164.9. Масс-спектр, m/z : 332 [M+H]⁺. Найдено, %: С 79.58; Н 6.61; N 4.30. C₂₂H₂₁NO₂. Вычислено, %: С 79.73; Н 6.39; N 4.23.

Получение бензазацина 2с и бензоазациклодека-4,6,7-триена 4 реакцией изохинолина 1 с ацетил-ацетиленом в трифторэтанол и гексафторизопропанол. Метод I. К раствору 0.30 г (1.2 ммоль) изохинолина **1** в 8 мл CF₃CH₂OH добавляют 0.17 г (2.4 ммоль) ацетилацетилена. Реакционную смесь перемешивают при 20 °С в течение 48 ч, и при –17 °С в течение 24 ч. Контроль за ходом реакций осуществляют методом ТСХ (сорбфил, гексан–АсОEt, 3:1). Растворитель упаривают при пониженном давлении, остаток хроматографируют на колонке с силикагелем. Последовательно элюируют бензазацин **2с** (гексан–АсОEt, 3:1) и бензо-3-аза-циклодека-4,6,7-триен **4** (гексан–АсОEt, 2:1), которые кристаллизуют из смеси гексан–АсОEt.

Метод II. Аналогично из 0.40 г (1.6 ммоль) изохинолина **1** и 0.22 г (3.2 ммоль) ацетилацетилена в 10 мл CF₃CH(OH)CF₃ при 7 °С за 5 ч получают бензазацин **2с** и бензо-3-аза-циклодека-4,6,7-триен **4**, а при 20 °С – соединение **4** как единственный выделенный продукт.

1-[(3E)-3-Метил-6-(фенилэтинил)-1,2,3,6-тетрагидро-3-бензазацин-5-ил]этанон (2с). Выход 200 мг (53%, метод I, при 20 °С), 290 мг (75%, метод I, при –17 °С), 100 мг (19%, метод II, при 7 °С). Бесцветные кристаллы. Т. пл. 187–189 °С (гексан–АсОEt, 3:1). R_f 0.63 (гексан–

АсОEt, 1:1). ИК спектр, ν , см^{-1} : 1629 (CO), 2221 (C≡C). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.24 (3H, с, COCH₃); 3.05 (3H, с, NCH₃); 3.23–3.28 (1H, м) и 3.32–3.36 (1H, м, 1-CH₂); 3.70 (1H, д, $J = 5.9$, $J = 16.2$) и 5.23–5.28 (1H, м, 2-CH₂); 6.20 (1H, с, 6-CH); 7.15–7.19 (4H, м, H Ar); 7.24–7.26 (3H, м, H Ar); 7.34 (1H, с, 4-CH); 7.35–7.37 (2H, м, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 25.1; 33.6; 35.8; 43.9; 52.4; 80.4; 93.2; 112.0; 123.9; 126.7; 127.4; 127.5; 128.1 (2C); 131.2; 131.4 (2C); 131.6; 136.4; 138.4; 156.0; 193.0. Масс-спектр, m/z : 316 [M+H]⁺. Найдено, %: С 83.58; Н 6.81; N 4.37. C₂₂H₂₁NO. Вычислено, %: С 83.78; Н 6.71; N 4.44.

1-[3-Метил-6-фенилбензо[d][3]аза-циклодека-4,6,7-триен-5-ил]этанон (4). Выход 31 мг (8%, метод I, при 20 °С), 15 мг (4%, метод I, при –17 °С), 65 мг (13%, метод II, при 7 °С), 51 мг (10%, метод II, при 20 °С). Бесцветные кристаллы. Т. пл. 127–129 °С (гексан–АсОEt, 2:1). R_f 0.41 (гексан–АсОEt, 2:1). ИК спектр, ν , см^{-1} : 1710 (CO), 1938 (C=C=C). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.08 (3H, с, COCH₃); 2.82–2.87 (2H, м, 1-CH₂); 3.20 (3H, с, NCH₃); 3.48–3.54 (1H, м) и 4.15–4.20 (1H, м, 2-CH₂); 6.56 (1H, с, 8-CH); 7.08–7.10 (1H, м, H Ar); 7.13 (1H, т, $J = 1.7$, $J = 7.2$, H Ar); 7.18 (1H, т, $J = 7.6$, H Ar); 7.21–7.24 (1H, м, H Ar); 7.25–7.26 (1H, м, H Ar); 7.28 (2H, т, $J = 7.9$, H Ar); 7.36–7.37 (2H, м, H Ar); 7.72 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 27.1; 32.0; 45.7; 51.9; 93.6; 105.0; 126.5 (2C); 126.9; 127.2; 127.3; 127.9; 128.7 (2C); 129.2; 130.7; 134.4; 135.5; 136.8; 147.7; 196.6; 210.3. Масс-спектр, m/z : 316 [M+H]⁺. Найдено, %: С 83.60; Н 6.87; N 4.24. C₂₂H₂₁NO. Вычислено, %: С 83.78; Н 6.71; N 4.44.

(3E)-4-[2-Метил-1-(фенилэтинил)-1,2,3,4-тетрагидро-изохинолин-1-ил]бут-3-ен-2-он (5). К раствору 0.30 г (1.2 ммоль) изохинолина **1** в 8 мл CH₂Cl₂ при 20 °С добавляют 0.25 г (3.6 ммоль) ацетилацетилена. Реакционную смесь перемешивают при комнатной температуре в течение 4 сут. Контроль за ходом реакции осуществляют методом ТСХ (сорбфил, гексан–АсОEt, 3:1). Растворитель упаривают при пониженном давлении, остаток очищают с помощью колоночной хроматографии на SiO₂, элюент гексан–АсОEt, 5:1. Выход 290 мг (75%). Бесцветные кристаллы. Т. пл. 137–139 °С (гексан–АсОEt, 5:1). R_f 0.33 (гексан–АсОEt, 3:1). ИК спектр, ν , см^{-1} : 1676 (CO), 2212 (C≡C). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.34 (3H, с, COCH₃); 2.49 (3H, с, NCH₃); 2.79–2.82 (1H, м) и 2.93–2.96 (1H, м, 4-CH₂); 3.05 (1H, т, $J = 3.5$, $J = 11.9$) и 3.17–3.22 (1H, м, 3-CH₂); 6.67 (1H, д, $J = 16.2$, CH=CHCOCH₃); 6.85 (1H, д, $J = 16.2$, CH=CHCOCH₃); 7.17–7.19 (1H, м, H Ar); 7.20–7.23 (3H, м, H Ar); 7.29–7.32 (3H, м, H Ar); 7.44–7.45 (2H, м, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. 27.0; 29.3; 40.7; 48.0; 64.5; 85.5; 90.4; 122.4; 126.2; 127.3; 128.2 (2C); 128.4; 128.6 (2C); 129.2; 131.7; 132.3; 133.6; 136.1; 149.8; 198.8. Масс-спектр, m/z : 316 [M+H]⁺. Найдено, %: С 83.53; Н 6.80; N 4.36. C₂₂H₂₁NO. Вычислено, %: С 83.78; Н 6.71; N 4.44.

Работа выполнена при поддержке Программы РУДН "5-100" и РФФИ (гранты 17-03-00605, 17-53-540001).

Список литературы

1. Voskressensky, L. G.; Titov, A. A.; Samavati, R.; Borisova, T. N.; Sorokina, E. A.; Varlamov, A. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2016**, 52, 316. [*Химия гетероцикл. соединений* **2016**, 52, 316.]
2. Voskressensky, L. G.; Titov, A. A.; Kobzev, M. S.; Samavati, R.; Borisov, R. S.; Kulikova, L. N.; Varlamov, A. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2016**, 52, 68. [*Химия гетероцикл. соединений* **2016**, 52, 68.]
3. Sashida, H.; Tsuchiya, T. *Chem. Pharm. Bull.* **1984**, 32, 4600.
4. Perscheid, M.; Schollmeyer, D.; Nubbemeyer, U. *Eur. J. Org. Chem.* **2011**, 5250.
5. Voskressensky, L. G.; Titov, A. A.; Dzhankaziev, M. S.; Borisova, T. N.; Kobzev, M. S.; Dorovatovskii, P. V.; Khrustalev, V. N.; Aksenov, A. V.; Varlamov, A. V. *New J. Chem.* **2017**, 41, 1902.
6. Samavati, R.; Alexandrova, E. V.; Miftyakhova, A. R.; Titov, A. A.; Varlamov, A. V. In *Advances in Synthesis and Complexing: Book of Abstracts of the Fourth International Scientific Conference*; RUDN University: Moscow, 2017, vol. 1, p. 200.
7. Taylor, A. M.; Schreiber, S. L. *Org. Lett.* **2006**, 8, 143.