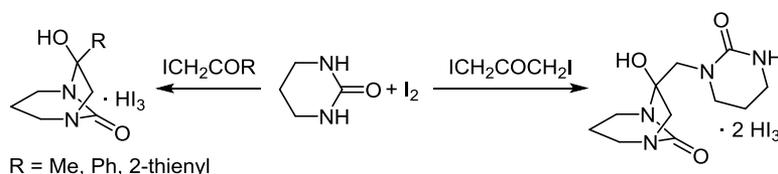


Аннелирование тетрагидро-2-пиримидинона α -иодкетонами

Иван А. Дорофеев¹, Людмила Г. Шагун^{1*}, Лариса В. Жилицкая¹,
Нина О. Ярош¹, Людмила И. Ларина¹

¹ Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН,
ул. Фаворского, 1, Иркутск 664033, Россия; e-mail: shag@irioch.irk.ru

Поступило 6.02.2018
Принято 13.04.2018



На основе трехкомпонентной реакции тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она с 1-иодпропан-2-оном, 2-иод-1-фенилэтан-1-оном, 2-иод-1-(тиофен-2-ил)этан-1-оном или 1,3-диодпропан-2-оном и элементарным иодом в отсутствие растворителей и основных сред синтезированы первые аннелированные гетероциклические производные тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она в одну препаративную стадию.

Ключевые слова: 6-гидрокси-1,5-диазабисцикло[3.2.1]октан-8-он, 1,3-диодпропан-2-он, 1-иодпропан-2-он, 2-иод-1-(тиофен-2-ил)этан-1-он, 2-иод-1-фенилэтан-1-он, тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-он, алкилирование, аннелирование.

Производные циклических мочевины и их солей проявляют широкий спектр полезных свойств. В медицине и сельском хозяйстве они находят применение в качестве прекурсоров биологически активных соединений, в том числе антитретовирусного,¹ нейротропного,² антидепрессантного³ и стимулирующего рост растений⁴ действия. В промышленности производные циклических мочевины являются ценными полупродуктами для модификации нитроцеллюлозных тканей,⁵ компонентами композиций энергонасыщенных и термоотверждаемых материалов,⁶ растворителями в органическом и неорганическом синтезе.⁷

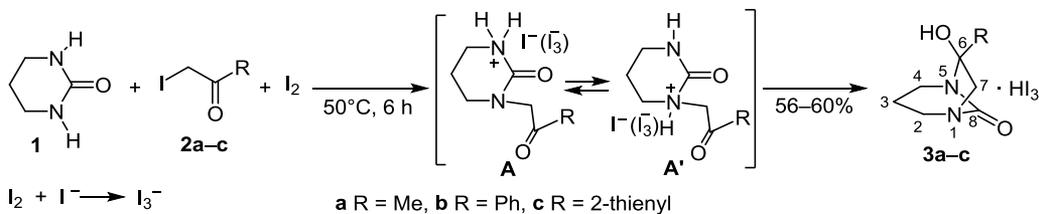
Синтез *N*-производных циклических мочевины, как правило, основан на карбонилировании вторичных α,ω -диаминов фосгеном⁸ или углекислым газом⁹ в присутствии переходных металлов или других катализаторов,¹⁰ а также на циклизации *N,N'*-дизамещенных линейных мочевины.¹¹ *N,N'*-Диалкилзамещенные циклические мочевины получают из соответствующих циклических тиомочевины заменой атома серы на атом кислорода при действии 2-замещенных оксиранов в присутствии SiO₂ или алкилгалогенидов в присутствии NaOH и каталитических количеств BnN(Cl)Et₃.¹² *N,N'*-Диалкилзамещенные циклические мочевины также образуются при алкилировании гидроксипиримидинов с последующим восстановлением до пиримидинов.¹³

Циклические мочевины в реакцию *N*-алкилирования практически не вступают, поэтому целью настоящих

исследований является поиск новых подходов к их функционализации на примере трехкомпонентной реакции тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она, алкилирующих агентов, содержащих в молекуле подвижные атомы галогенов, и элементарного иода. На основании экспериментальных данных установлено, что 1-хлор(1-иод)-пропан-2-оны в среде метанола как в отсутствие, так и в присутствии оснований и элементарного иода в реакцию с тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-оном (**1**) не вступают. Мы предположили, что алкилированию проблемного субстрата **1** будет способствовать наличие в реакционной среде жидких трийодидов,¹⁴ которые, благодаря поляризующим и сольватирующим свойствам, могут выступать в качестве как растворителя, так и катализатора. С этой целью взаимодействие тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она (**1**) с 1-иодпропан-2-оном (**2a**) проводили в присутствии элементарного иода в отсутствие растворителя. По данным мониторинга спектроскопией ЯМР ¹H, ¹³C, ¹⁵N, реакция протекает через стадию *N*-алкилирования одного из атомов азота с образованием аддуктов **A** и **A'**, которые далее, подвергаясь внутримолекулярной циклизации, приводят к трийодиду 6-гидрокси-6-метил-1,5-диазабисцикло[3.2.1]октан-8-она (**3a**) с выходом 60%. Формирование трийодид-анионов на всех стадиях процесса происходит за счет взаимодействия иодид-анионов с молекулярным иодом (схема 1).

Для определения границ применимости данной реакции мы исследовали взаимодействие тетрагидро-

Схема 1



2-пиримидин-2(1*H*)-она (**1**) с ароматическими и гетероароматическими иодкетонами в аналогичных условиях. Установлено, что в процессе аннелирования тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она (**1**) с 2-иод-1-фенилэтан-1-оном (**2b**) или 2-иод-1-(тиофен-2-ил)этаном (**2c**) сохраняются основные закономерности реакции. При этом были получены трииодид 6-гидрокси-6-фенил-1,5-дизабицикло[3.2.1]октан-8-она (**3b**) и трииодид 6-гидрокси-6-(тиофен-2-ил)-1,5-дизабицикло[3.2.1]октан-8-она (**3c**) с выходами 58 и 56% соответственно. Эти результаты свидетельствуют, что замена метильного заместителя в иодкетоне **2a** на фенильный или тиенильный не оказывает влияния на направление реакции, времени ее проведения и выходы трииодидов **3a–c**.

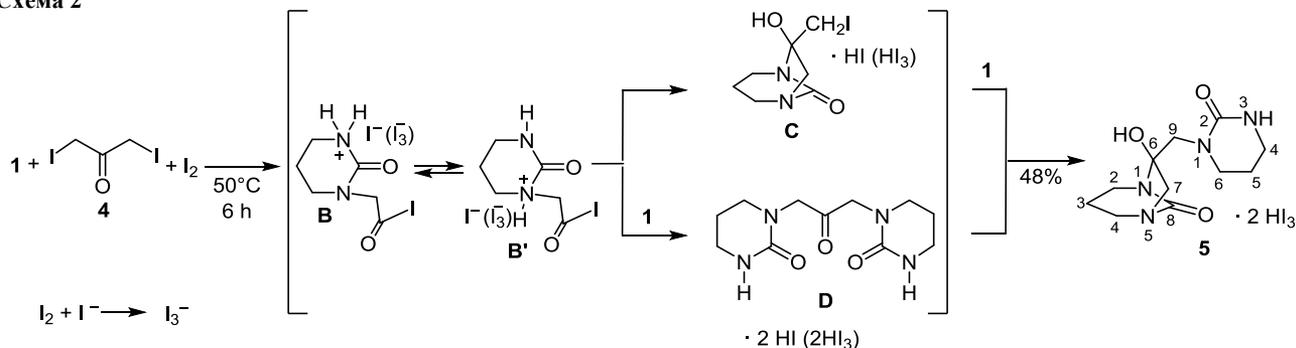
Расширяя область синтетического использования разработанной методики, в аналогичную реакцию ввели 1,3-диодпропан-2-он (**4**), в молекуле которого содержатся две иодметильные группы. В этом случае, по данным мониторинга спектроскопией ЯМР, происходит алкилирование одного из атомов азота тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она (**1**) с образованием аддуктов **B** и **B'**. Далее инициируется каскадная последовательность, которая включает внутримолекулярную циклизацию с образованием аддукта **C** и последующее алкилирование им исходной мочевины **1**. Не исключено, что аддукты **B** и **B'** могут вступать в реакцию алкилирования со второй молекулой тетрагидро-2-пиримидинона (**1**) с образованием аддукта **D**, претерпевающего затем внутримолекулярную циклизацию. В результате этих превращений образуется полииодид 6-гидрокси-6-[(2-оксотетрагидропиримидин-1(2*H*)-ил)метил]-1,5-дизабицикло[3.2.1]октан-8-она (**5**) с выходом 48% (схема 2).

Строение синтезированных полииодидов **3a–c** и **5** доказано методами двумерной и многоядерной спектроскопии ЯМР 1H , ^{13}C , ^{15}N (COSY-*gp*, NOESY-*gp*, 1H - ^{13}C HSQC-*gp*, 1H - ^{13}C HMBC-*gp*, 1H - ^{15}N HMBC-*gp*)

и подтверждено данными элементного анализа, УФ и ИК спектрами. На образование аннелированных гетероциклических структур **3a–c** и **5** указывает наличие в их спектрах ЯМР 1H и ^{13}C сигналов протонов метиленовых групп 7,9- CH_2 (соединение **5**) при 3.80–4.97 м. д. и сигнала четвертичного атома углерода C-6 в интервале 90.6–93.3 м. д., а также отсутствие сигнала карбонильной группы кетонов. В двумерных спектрах ЯМР 1H - ^{15}N HMBC соединений **3a,b** присутствует кросс-пик между сигналами атомов азота и протонов метиленовой группы 3- CH_2 (–261.4 и –260.9 м. д. соответственно). Для соединения **3c** фиксируются кросс-пики сигналов атомов азота при –250.6 м. д. с сигналами протонов метиленовых групп 3,7- CH_2 . В двумерном спектре ЯМР 1H - ^{15}N HMBC соединения **5** отмечаются кросс-пики сигналов атомов азота при –265.2 м. д. с сигналами протонов метиленовой группы при атомах углерода 7, 9- CH_2 . Смещение в слабое поле на 33.0–47.6 м. д. химического сдвига атома азота в спектрах ЯМР ^{15}N соединений **3a–c** и **5**, по сравнению со спектром тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она (**1**) (–298.2 м. д.), подтверждает направление протекания реакции по атому азота. Кроме того, в ИК спектрах синтезированных соединений **3a–c** и **5** отсутствуют полосы поглощения, характерные для карбонильной группы кетона, что указывает на ее участие в формировании гетероциклической структуры. В их УФ спектрах наблюдаются характерные для аниона (I_3^-) полосы поглощения в области 292–293 и 361–362 нм.¹⁵

Таким образом, на основе трехкомпонентной реакции тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она, α -иодкетонов алифатического, ароматического, гетероароматического рядов и элементного иода в отсутствие растворителей и основных сред разработан оригинальный метод синтеза аннелированных гетероциклических производных тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она. Установлено, что их образование включает алкилирование

Схема 2



одного из атомов азота исходного тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она α -иодкетонами и последующую внутримолекулярную циклизацию *N*-алкилированного аддукта.

Экспериментальная часть

ИК спектры записаны на спектрометре Vertex 70 в тонком слое. Одно- и двумерные спектры ЯМР ^1H , ^{13}C , и ^{15}N синтезированных соединений зарегистрированы на спектрометрах Bruker DPX-400 и Bruker AV-400 (400, 100 и 40 МГц соответственно) в $\text{Me}_2\text{CO}-d_6$ при 298 К. Внутренний стандарт в спектрах ЯМР ^1H и ^{13}C – TMS, в спектрах ЯМР ^{15}N – нитрометан. Двумерные спектры ЯМР ^{15}N записаны с использованием методики $^1\text{H}-^{15}\text{N}$ HMBC-*gr*. Отнесение сигналов в спектрах ^1H и ^{13}C проведено с использованием двумерных гомоядерных и гетероядерных методик $^1\text{H}-^1\text{H}$ COSY-*gr*, $^1\text{H}-^1\text{H}$ NOESY-*gr* (время смешивания 700 мс), $^1\text{H}-^{13}\text{C}$ HMBC и $^1\text{H}-^{13}\text{C}$ HSQC. УФ спектры записаны на спектрометре UV-Vis Lambda 35 в MeCN. Элементный анализ выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе Thermo Scientific Flash 2000. Содержание иода определено меркурометрическим методом объемного анализа. Температуры плавления определены на приборе Micro-Hot-Stage PolyTherm A. Контроль за ходом реакций осуществлен по спектрам ЯМР ^1H , ^{13}C и ^{15}N и методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254 (элюент Me_2CO , визуализация парами иода).

Получение соединений 3а–с и 5 реакцией тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она (1) с α -иодкетонами 2а–с или 4 и элементарным иодом (общая методика). Смесь 2.00 ммоль тетрагидро-2-пиримидин-2(1*H*)-она (1), 2.00 ммоль иодкетона 2а–с и 2.00 ммоль элементарного иода (или 2.00 ммоль соединения 1, 1.00 ммоль соединения 4 и 4.00 ммоль элементарного иода) перемешивают в течение 6 ч при 50 °С до исчезновения иодкетона 2а–с или 4. Образовавшееся густое масло промывают 100 мл Et_2O . Остаток пересаживают (Me_2CO –гексан, 1:10), высушивают при пониженном давлении.

Триодид 6-гидрокси-6-метил-1,5-диазабицикло[3.2.1]октан-8-она (3а). Выход 0.64 г (60%), бордовое масло. УФ спектр, λ_{max} , нм (lg ϵ): 292 (3.61), 362 (3.33). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 1.78 (3H, с, CH_3); 1.97–1.99 (2H, м, 3- CH_2); 3.41–3.44 (2H, м, 2- CH_2); 3.66–3.70 (2H, м, 4- CH_2); 4.74 (1H, д, $^3J = 9.9$, 7- CH_2); 4.79 (1H, д, $^3J = 9.9$, 7- CH_2); 7.50 (1H, уш. с, NH); 9.07 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.4 (CH_3); 22.4 (C-3), 37.0 (C-2); 39.5 (C-4); 81.1 (C-7); 90.6 (C-6); 158.2 (C-8). Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: –261.4. Найдено, %: С 15.35; Н 2.51; I 71.10; N 5.15. $\text{C}_7\text{H}_{13}\text{I}_3\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: С 15.63; Н 2.44; I 70.78; N 5.21.

Триодид 6-гидрокси-6-фенил-1,5-диазабицикло[3.2.1]октан-8-она (3б). Выход 0.70 г (58%), бордовое масло. УФ спектр, λ_{max} , нм (lg ϵ): 293 (3.66), 361 (3.38). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 1.91–1.94 (2H, м, 3- CH_2); 3.34–3.40 (2H, м, 2- CH_2); 3.54–3.59 (2H, м, 4- CH_2); 4.84 (1H, д, $^3J = 10.2$, 7- CH_2); 4.97 (1H, д, $^3J = 10.2$, 7- CH_2); 7.50 (2H, д, д, $^3J = 7.3$, $^3J = 6.7$, H-3,5 Ph); 7.59 (1H, т, $^3J = 7.3$, H-4 Ph); 7.71 (2H, д,

$^3J = 6.7$, H-2,6 Ph); 7.72 (1H, уш. с, NH); 9.38 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.4 (C-3); 37.6 (C-2); 39.4 (C-4); 82.9 (C-7); 92.5 (C-6); 126.6 (C-2,6 Ph); 128.8 (C-3,5 Ph); 129.8 (C-4 Ph); 135.9 (C-1 Ph); 158.9 (C-8). Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: –260.9. Найдено, %: С 23.99; Н 2.72; I 63.34; N 4.62. $\text{C}_{12}\text{H}_{15}\text{I}_3\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: С 24.02; Н 2.52; I 63.45; N 4.67.

Триодид 6-гидрокси-6-(тиофен-2-ил)-1,5-диазабицикло[3.2.1]октан-8-она (3с). Выход 0.68 г (56%), бордовое масло. УФ спектр, λ_{max} , нм (lg ϵ): 293 (3.66), 361 (3.38). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 2.40–2.43 (2H, м, 3- CH_2); 3.48–3.49 (2H, м, 2- CH_2); 3.84–3.86 (2H, м, 4- CH_2); 4.22 (1H, д, $^3J = 9.9$, 7- CH_2); 4.25 (1H, д, $^3J = 9.9$, 7- CH_2); 7.29 (1H, д, д, $^3J = 3.5$, $^3J = 5.0$, H-4 тиофен); 7.54 (1H, д, $^3J = 5.0$, H-3 тиофен); 7.80 (1H, д, $^3J = 3.5$, H-5 тиофен); 7.99 (1H, уш. с, NH); 9.51 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 20.1 (C-3); 39.7 (C-2); 43.0 (C-4); 62.2 (C-7); 93.3 (C-6); 126.5 (C-4 тиофен); 128.7 (C-5 тиофен); 129.8 (C-3 тиофен); 130.7 (C-2 тиофен); 156.0 (C-8). Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: –250.6. Найдено, %: С 19.97; Н 2.18; I 62.72; N 4.12; S 5.41. $\text{C}_{10}\text{H}_{13}\text{I}_3\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$. Вычислено, %: С 19.82; Н 2.16; I 62.82; N 4.62; S 5.29.

Полиодид 6-гидрокси-6-[(2-оксотетрагидропиримидин-1(2*H*)-ил)метил]-1,5-диазабицикло[3.2.1]октан-8-она (5). Выход 0.59 г (48%), бордовое масло. УФ спектр, λ_{max} , нм (lg ϵ): 292 (5.05), 361 (4.77). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 1.89–1.94 (2H, м, 5- CH_2 пиримидин); 2.15–2.21 (1H, м, 3- CH_2); 2.23–2.29 (1H, м, 3- CH_2); 3.34–3.36 (4H, м, 4,6- CH_2 пиримидин); 3.66–3.68 (4H, м, 2,4- CH_2); 3.80 (1H, д, $^3J = 11.4$, 9- CH_2); 3.85 (1H, д, $^3J = 11.4$, 9- CH_2); 4.80 (1H, д, $^3J = 10.0$, 7- CH_2); 4.95 (1H, д, $^3J = 10.0$, 7- CH_2); 6.66 (1H, уш. с, NH); 7.67 (2H, уш. с, NH); 9.40 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 7.2 (C-9); 19.7 (C-3,5 пиримидин); 37.9 (C-2,4); 39.6 (C-4,6 пиримидин); 80.8 (C-7); 91.1 (C-6); 158.9 (C-2,8 пиримидин). Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: –265.2. Найдено, %: С 12.78; Н 2.13; I 75.06; N 5.31. $\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{I}_6\text{N}_4\text{O}_3$. Вычислено, %: С 12.98; Н 1.98; I 74.82; N 5.51.

Основные результаты получены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Список литературы

- (a) Kazmierski, W. M.; Furfine, E.; Gray-Nunez, Y.; Spaltenstein, A.; Wright, L. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2004**, *14*, 5685. (b) Dumas, J. *Curr. Opin. Drug Discovery Dev.* **2002**, *5*, 718. (c) De Clercq, E. *Biochim. Biophys. Acta* **2002**, *1587*, 258. (d) Gardelli, C.; Nizi, E.; Muraglia, E.; Crescenzi, B.; Ferrara, M.; Orvieto, F.; Pace, P.; Pescatore, G.; Poma, M.; Rico Ferreira, M. del R.; Scarpelli, R.; Homnick, C. F.; Ikemoto, N.; Alfieri, A.; Verdirame, M.; Bonelli, F.; Gonzalez Paz, O.; Taliani, M.; Monteagudo, E.; Pesci, S.; Laupher, R.; Felock, P.; Stillmock, K. A.; Hazuda, D.; Rowley, M.; Summa, V. *J. Med. Chem.* **2007**, *50*, 4953. (e) Ferrara, M.; Fiore, F.; Summa, V.; Gardelli, C. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2010**, *20*, 5031. (g) Lam, P. Y.-S.; Eyrmann, C. J.; Hodge, C. N.; Jadhav, P. K.; Delucce, G. V. RU Patent 2131420, 1999.

- (h) Ray, P. C.; Tummanapalli, J. M. C.; Ramanjaneyulu, G. S. WO Patent 2007060689 A2.
2. Kravchenko, A. N.; Baranov, V. V.; Gazieva, G. A. *Russ. Chem. Rev.* **2018**, 87, 89. [Успехи химии **2018**, 87, 89.]
 3. (a) Kamburg, R. US Patent 227838, 2008; *Chem. Abstr.* **2008**, 149, 347537. (b) Berlyand, A. S.; Lebedev, O. V.; Prokopov, A. A. *Pharm. Chem. J.* **2013**, 47, 176. [Хим.-фарм. журн. **2013**, 47 (3), 52.] (c) Kravchenko, A. N.; Baranov, V. V.; Anikina, L. V.; Vikharev, Yu. B.; Bushmarinov, I. S.; Nelyubina, Yu. V. *Russ. J. Bioorg. Chem.* **2012**, 38, 550. [Биоорган. химия **2012**, 38, 621].
 4. (a) Kalinina, T. A.; Khamidullina, L. A.; Shakhmina, Yu. S.; Glukhareva, T. V.; Kochubei, A. A.; Cherepanova, O. E.; Fan, Z.; Zhu, Y.; Morzherin, Yu. Yu. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2016**, 52, 910. [Химия гетероцикл. соединений **2016**, 52, 910.] (b) Armenta, R.; Sarmiento-Sánchez, J. I. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2016**, 52, 1002. [Химия гетероцикл. соединений **2016**, 52, 1002.]
 5. (a) Lichtenwalter, M.; Bentley, F. E. US Patent 3366633, 1968. (b) North, B. F. US Patent 4396391, 1983. (c) Goeckel, U.; Petersen, H.; Osterloh, R.; Schupp, E.; Loch W.; Schwerzel, T. EP Patent 0210471A3, 1990.
 6. (a) Шестакова, Е. О.; Ильясов, С. Г.; Ильясов, Д. С. *Ползуновский вестник* **2014**, (3), 65. (b) Cui, K.; Xu, G.; Xu, Z.; Wang, P.; Xue, M.; Meng, Z.; Li, J.; Wang, B.; Ge, Z.; Qin, G. *Propellants, Explos., Pyrotech.* **2014**, 39, 662. (c) Зиновьев, В. М.; Куценко, Г. В. *Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы* **2009**, 2, 11.
 7. Li, J. J.; Limberakis, C.; Pflum, D. A. In *Modern Organic Synthesis in the Laboratory*; Li, J. J., Ed.; Oxford University Press, 2007, p. 9.
 8. (a) Boon, W. R. *J. Chem. Soc.* **1947**, 307. (b) Thomas, E. W.; Nishizawa, E. E.; Zimmermann, D. C.; Williams, D. J. *J. Med. Chem.* **1989**, 32, 228.
 9. (a) Butler, A. R.; Hussain, I. *J. Chem. Soc., Perkin Trans 2* **1981**, 317. (b) Dehmlow, E. V., Rao, Y. R. *Synth. Commun.* **1988**, 18, 487. (c) Nomura, R.; Hasegawa, Y.; Ishimoto, M.; Toyosaki, T.; Matsuda, H. *J. Org. Chem.* **1992**, 57, 7339. (d) Nomura, R.; Hasegawa, Y.; Toyosaki T.; Matsuda, H. *Chem. Express* **1992**, 7, 569. (e) Corriu, R. J. P.; Lanneau, G. F.; Mehta, V. D. *J. Organomet. Chem.* **1991**, 419, 9.
 10. (a) Mizuno, T.; Nakai T.; Mihara, M. *Heterat. Chem.* **2009**, 20, 64. (b) McCusker, J. E.; Grasso, C. A.; Main, A. D.; McElwee-White, L. *Org. Lett.* **1999**, 1, 961. (c) Mizuno, T.; Iwai, T.; Ishino, Y. *Tetrahedron* **2005**, 61, 9157. (d) Fritz, J. A.; Nakhla, J. S.; Wolfe, J. P. *Org. Lett.* **2006**, 8, 2531. (e) Kim, M.; Mulcahy, J. V.; Espino, C. G.; Du Bois, J. *Org. Lett.* **2006**, 8, 1073. (f) Qian, F.; McCusker, J. E.; Zhang, Y.; Main, A. D.; Chlebowski, M.; Kokka; McElwee-White, M. L. *J. Org. Chem.* **2002**, 67, 4086.
 11. Hopkins, B. A.; Wolfe, J. P. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2012**, 51, 9886.
 12. (a) Malaschichin, S.; Fu, C.; Linden, A.; Heimgartner, H. *Helv. Chim. Acta* **2005**, 88, 3253. (b) Bogatsky, A. V.; Lukyanenko, N. G.; Kirichenko, T. I. *Synthesis* **1982**, 464.
 13. Schwan, T. J.; Burrous, S. E.; Butterfield, J. L. US Patent 3681349, 1972.
 14. (a) Yarosh, N. O.; Zhilitskaya, L. V.; Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Larina, L. I. *Russ. J. Org. Chem.* **2017**, 53, 413. [Журн. орган. химии **2017**, 53, 413.] (b) Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Zhilitskaya, L. V.; Yarosh, N. O.; Larina, L. I. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 920. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 920.] (c) Dorofeev, I. A.; Shagun, L. G.; Zhilitskaya, L. V.; Yarosh, N. O. *Russ. J. Org. Chem.* **2017**, 53, 628. [Журн. орган. химии **2017**, 53, 620.] (d) Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Zhilitskaya, L. V.; Larina, L. I.; Yarosh, N. O. *Mendeleev Commun.* **2015**, 25, 334. (e) Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Zhilitskaya, L. V.; Yarosh, N. O.; Larina, L. I. *Mendeleev Commun.* **2016**, 26, 360.
 15. Reiller, P.; Mercier-Bion, F.; Gimenez, N.; Barre, N.; Miserque, F. *Radiochim. Acta* **2006**, 94, 739.