ЖУРНАЛ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ, 2019, том 55, № 8, с. 1188–1192

УДК 547.8

ГЕКСАГИДРОГЕКСААЗАГЕПТАЛЕНОБИС[1,10-*ab*]-ФЕНАЛЕНЫ – НОВЫЙ ТИП АЗАПОЛИЦИКЛОВ

© 2019 г. Е. Б. Рахимова*, В. Ю. Кирсанов, А. Г. Ибрагимов, У. М. Джемилев

Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН (ИНК УФИЦ РАН)
450075, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр. Октября 141
**e-mail: rakhimovaelena@mail.ru*

Поступила в редакцию 18 февраля 2019 г.
После доработки 26 марта 2019 г.
Принята к публикации 12 апреля 2019 г.

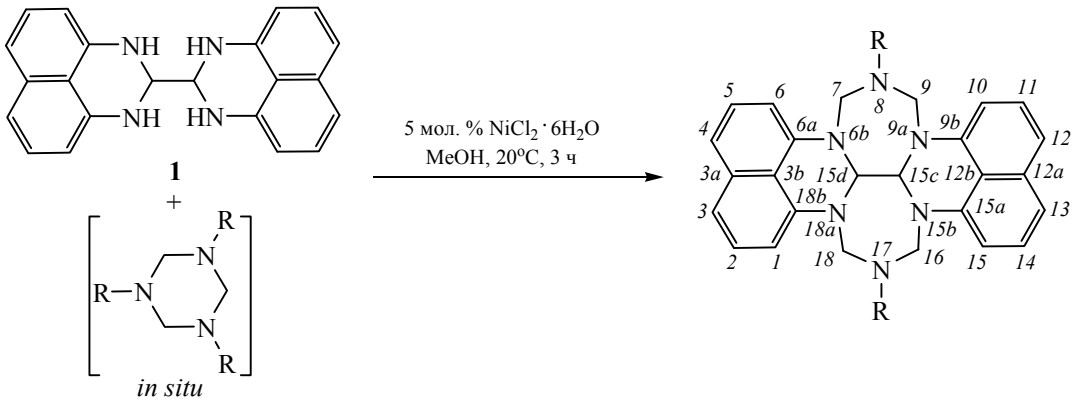
Впервые предложен метод синтеза 8,17-дизамещенных 8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис[1,10-*ab*]феналенов – представителей новых азаполициклов – реакцией 2,2',3,3'-тетрагидро-1*H*,1'*H*-2,2'-биперимидина с 1,3,5-трициклоалкил-1,3,5-триазинанами с участием в качестве катализатора $NiCl_2 \cdot 6H_2O$.

Ключевые слова: катализ, гетероциклизация, 1,3,5-триазинаны, перимидины, феналены.
DOI: 10.1134/S051474921908007X

В мировой литературе описаны методы синтеза три- и тетраазациклопента[*c*,*d*]феналенов [1–3], в том числе их серосодержащих аналогов [4, 5]. Согласно [1], синтез 1*H*-1,5,7-триазациклопента[*c*,*d*]-феналенов осуществляют реакцией ацетилперимидинов с 1,3,5-триазинами в присутствии азида натрия в полифосфорной кислоте. Подобные полициклические соединения, в том числе производные перимидина, представляют интерес в качестве соединений с широким спектром биологической активности [6], а также могут найти применение в качестве фотохимических зондов [7] и быть использованы в нанотехнологии [8].

В продолжение проводимых нами исследований [9–13] в области синтеза аннелированных полиазаполициклов, а также с целью разработки эффективного способа получения дизамещенных гексагидрогексаазагепталенобис[1,10-*ab*]феналенов, мы изучили реакцию гетероциклизации 2,2',3,3'-тетрагидро-1*H*,1'*H*-2,2'-биперимидина с 1,3,5-тризамещенными 1,3,5-триазинанами, используемых нами в качестве эффективных циклоаминометилирующих реагентов [14–17]. Предварительными экспериментами установили, что некаталитическое взаимодействие 1,3,5-трициклопропил-1,3,5-триазинана с гидрированным бис-перимидином **1** [18] при 20°C приводит к образованию гексагидрогексаазагепталенобис[1,10-*ab*]феналена **2** с выходом не более 15%. Для повышения выхода целевого гетероцикла **2** реакцию 1,3,5-трициклопропил-1,3,5-триазинана с 2,2',3,3'-тетрагидро-1*H*,1'*H*-2,2'-биперимидином осуществили в присутствии хлорида никеля, как наиболее активного катализатора в подобных реакциях рециклизации [10–12]. Под действием 5 мол. % $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ гетероциклизация 1,3,5-трициклопропил-1,3,5-триазинана с 2,2',3,3'-тетрагидро-1*H*,1'*H*-2,2'-биперимидином в среде MeOH проходит с образованием 8,17-дициклопропил-8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис[1,10-*ab*]феналена (**2**) с выходом 58%. Повышение концентрации катализатора до 10 мол. % $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ не приводит к существенному увеличению выхода целевого гетероцикла. Выбор MeOH в качестве растворителя обусловлен хорошей растворимостью в последнем исходных реагентов. Аналогичные результаты мы получили при замене циклопропильных остатков у атомов азота в молекуле 1,3,5-триазинана на другие циклоалкильные заместители (R = циклопентил, циклогексил, циклогептил, циклооктил). Следует отметить, что 1,3,5-трициклоалкил-1,3,5-триазинаны были получены in situ [10] и далее вовлечены в реакцию гетероциклизации без предварительного выделения с целью более эффективного синтеза целевых гексагидрогексаазагепталенобис[1,10-*ab*]-феналенов. В разработанных условиях (5 мол. % $NiCl_2 \cdot 6H_2O$, 20°C, 3 ч, растворитель MeOH) гетеро-

Схема 1.



R = *цикло*-C_3H_5 (**2**, 58%), *цикло*-C_5H_9 (**3**, 56%), *цикло*-C_6H_{11} (**4**, 63%), *цикло*-C_7H_{13} (**5**, 47%), *цикло*-C_8H_{15} (**6**, 52%).

циклизация 2,2',3,3'-тетрагидро-1*H*,1'*H*-2,2'-биперимидина с 1,3,5-трициклоалкил-1,3,5-триазинанами проходит с селективным образованием 8,17-дициклоалкил-8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис[1,10-*ab*]-феналенов **3–6** с выходами 47–63% (схема 1). Гидрированный бис-перимидин является перспективным строительным блоком для конструирования сложных молекулярных структур с уникальными физико-химическими свойствами. Синтезированные с помощью тетрагидробиперимидина полиазаполициклы содержат в себе гетероциклическое ядро и два фрагмента нафталена. Высокая основность [19, 20], носителем которой в гетероциклах служат атомы азота, может оказать значительное влияние на комплексообразующую способность [21] подобных молекулярных ансамблей.

В спектрах ЯМР ^{1}H соединений **2–6** характеристичными являются два уширенных синглета в области 3.95–4.06 и 4.44–4.70 м.д., относящихся к протонам углеродных атомов, расположенных между атомами азота в положениях $H^{15c,15d}$ и $H^{7,9,16,18}$ соответственно. Для соединений **2–6** в спектрах ЯМР ^{13}C характерно наличие двух сигналов в области 48.7–51.8 и 64.3–68.3 м.д., принадлежащих углеродным атомам гексаазаполициклического каркаса в положениях $C^{15c,15d}$ и $C^{7,9,16,18}$. Отнесение сигналов проведено на основа-нии двумерных гомо- (COSY) и гетероядерных (HSQC, HMBC) экспериментов ЯМР. Предложен-ные структуры соединений **2–6** подтверждаются регистрацией молекулярных пиков в масс-спектрах положительных ионов, полученных ионизацией с помощью лазерной десорбции из матрицы, с регистрацией их времени пролёта в отражательном режиме (MALDI TOF/TOF, разрешение 0.001 а.е.).

Полученные экспериментальные результаты [10–12] и литературные данные [22, 23] позволили предположить, что каталитический цикл реакции между бис-перимидином **1** и 1,3,5-трициклоалкил-1,3,5-триазинаном включает стадию координации гетероатома с ионом центрального атома катализатора [24], что способствует сдвигу электронной плотности от гетероатома к иону металла и приводит к образованию карбокатионов. Последующее нуклеофильное присоединение вторичного атома азота 2,2',3,3'-тетрагидро-1*H*,1'*H*-2,2'-биперимидина к иону иминия, образующегося в условиях реакции, приводит к гетероциклизации с получением гексагидрогексаазагепталенобис[1,10-*ab*]феналенов.

Таким образом, нами впервые показано, что катализируемая $NiCl_2{\cdot}6H_2O$ гетероциклизация 2,2',3,3'-тетрагидро-1*H*,1'*H*-2,2'-биперимидина с 1,3,5-трициклоалкил-1,3,5-триазинанами является эффективным методом синтеза ранее неописанных 8,17-дициклоалкил-8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис[1,10-*ab*]-феналенов, представляющих новый тип азаполициклов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Одномерные спектры ЯМР ^{1}H и ^{13}C, а также двумерные гомо- (COSY) и гетероядерные (HSQC, HMBC) спектры регистрировали на спектрометре Bruker Avance 500 [500.17 (^{1}H), 125.78 (^{13}C) МГц] в $CDCl_3$ по стандартным методикам фирмы Bruker, внутренний стандарт ТМС. Масс-спектры MALDI TOF/TOF положительных ионов (матрица – синапиновая кислота) записаны на масс-спектрометре Bruker Autoflex^{TM} III Smartbeam. Подготовку

проб для регистрации масс-спектров проводили по методике «сухая капля»: в отдельной пробирке смешивали растворы матричного и анализируемого веществ (50:1–100:1), после этого каплю раствора наносили на мишень и высушивали потоком теплого воздуха. Пробу с мишени переводили в газовую фазу с помощью лазерных импульсов (200 импульсов с частотой 100 Гц). В качестве источника лазерного излучения применяли твердотельный УФ лазер с длиной волны излучения 355 нм. ИК спектры снимали на спектрометре Bruker Vertex 70V в суспензии в вазелиновом масле. Элементный анализ образцов проводили на анализаторе фирмы Carlo Erba 1106. Использованные в работе реактивы приобрели в компаниях Sigma-Aldrich и Acros Organics.

Гетероциклизация бис-перимидина с 1,3,5-трициклоалкил-1,3,5-триазинанами (*общая методика*). В круглодонную колбу, установленную на магнитной мешалке, при комнатной температуре ~20°C помещали 0.34 г (1 ммоль) 2,2',3,3'-тетрагидро-1*H*,1'*H*-2,2'-биперимидина в 10 мл MeOH, полученного по известной методике [18], 0.012 г (0.05 ммоль) $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ и 2.00 ммоль соответствующего 1,3,5-трициклоалкил-1,3,5-триазина в 10 мл MeOH, полученного *in situ* [10]. Реакционную смесь перемешивали в течение 3 ч. Образующиеся осадки отфильтровывали, дважды промывали метанолом (2×10 мл) и получали индивидуальные соединения **2–6**, представляющие собой темно-коричневые тугоплавкие (т.пл. > 350°C) порошкообразные вещества.

8,17-Дициклопропил-8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис-[1,10-*ab*]фенален (2). Выход 0.29 г (58%). ИК спектр, см$^{-1}$: 2923, 1582, 1149, 804, 754. Спектр ЯМР ^{1}H ($CDCl_3$), δ, м.д.: 0.64 уш.с (8H, CH_2, $H^{2',2'',3',3''}$), 2.21–2.28 м (2H, CH, $H^{1',1''}$), 4.06 уш.с (2H, CH, $H^{15c,15d}$), 4.70 уш.с (8H, CH_2, $H^{7,9,16,18}$), 6.92–6.99 м (8H, CH, $H^{1,2,5,6,10,11,14,15}$), 7.18–7.25 м (4H, CH, $H^{3,4,12,13}$). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$), δ, м.д.: 7.2 ($C^{2',2'',3',3''}$), 33.2 ($C^{1',1''}$), 51.8 ($C^{15c,15d}$), 68.3 ($C^{7,9,16,18}$), 113.1 ($C^{2,5,11,14}$), 121.0 ($C^{3,4,12,13}$), 122.0 ($C^{3b,12b}$), 126.5 ($C^{1,6,10,15}$), 130.9 ($C^{6a,9b,15a,18b}$), 133.9 ($C^{3a,12a}$). Масс-спектр, *m/z* ($I_{отн}$, %): 499 (100) $[M - H]^+$. Найдено, %: C 76.68; H 6.36; N 16.71. $C_{32}H_{32}N_6$. Вычислено, %: C 76.77; H 6.44; N 16.79.

8,17-Дициклопентил-8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис-[1,10-*ab*]фенален (3). Выход 0.31 г (56%). ИК спектр, см$^{-1}$: 2952, 1583, 1209, 1148, 803, 750. Спектр ЯМР ^{1}H ($CDCl_3$), δ, м.д. (*J*, Гц): 1.48–1.62 м (8H, CH_2, $H_a^{2',2'',3',3'',4',4'',5',5''}$), 1.72–1.82 м (4H, CH_2, $H_b^{3',3'',4',4''}$), 1.91–1.99 м (4H, CH_2, $H_b^{2',2'',5',5''}$), 3.03–3.09 м (2H, CH, $H^{1',1''}$), 4.01 уш.с (2H, CH, $H^{15c,15d}$), 4.55 уш.с (8H, CH_2, $H^{7,9,16,18}$), 6.80 д (4H, CH, $H^{2,5,11,14}$, ^3J 7.2), 6.87 д (4H, CH, $H^{1,6,10,15}$, ^3J 8.4,), 7.08 д (4H, CH, $H^{3,4,12,13}$, ^3J 8.4). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$), δ, м.д.: 23.8 ($C^{3',3'',4',4''}$), 31.3 ($C^{2',2'',5',5''}$), 51.1 ($C^{15c,15d}$), 59.7 ($C^{1',1''}$), 66.3 ($C^{7,9,16,18}$), 114.5 ($C^{2,5,11,14}$), 119.3 ($C^{3,4,12,13}$), 122.0 ($C^{3b,12b}$), 126.2 ($C^{1,6,10,15}$), 132.7 ($C^{6a,9b,15a,18b}$), 134.1 ($C^{3a,12a}$). Масс-спектр, *m/z* ($I_{отн}$, %): 555 $[M - H]^+$ (100). Найдено, %: C 77.53; H 7.19; N 15.02. $C_{36}H_{40}N_6$. Вычислено, %: C 77.66; H 7.24; N 15.10.

8,17-Дициклогексил-8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис-[1,10-*ab*]фенален (4). Выход 0.37 г (63%). ИК спектр, см$^{-1}$: 2924, 1586, 1267, 1197, 805, 749. Спектр ЯМР ^{1}H ($CDCl_3$), δ, м.д. (*J*, Гц): 1.17–1.28 м (10H, CH_2, $H_a^{2',2'',3',3'',4',4'',5',5'',6',6''}$), 1.58–1.65 м (2H, CH_2, $H_b^{4',4''}$), 1.75–1.82 м (4H, CH_2, $H_b^{3',3'',5',5''}$), 1.91–1.98 м (4H, CH_2, $H_b^{2',2'',6',6''}$), 2.58–2.65 м (2H, CH, $H^{1',1''}$), 4.03 уш.с (2H, CH, $H^{15c,15d}$), 4.57 уш.с (8H, CH_2, $H^{7,9,16,18}$), 6.77 д (4H, CH, $H^{2,5,11,14}$, ^3J 7.5), 6.86 д (4H, CH, $H^{1,6,10,15}$, ^3J 8.5), 7.03 д (4H, CH, $H^{3,4,12,13}$, ^3J 8.5). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$), δ, м.д.: 25.2 ($C^{3',3'',5',5''}$), 25.7 ($C^{4',4''}$), 30.9 ($C^{2',2'',6',6''}$), 48.7 ($C^{15c,15d}$), 57.5 ($C^{1',1''}$), 64.3 ($C^{7,9,16,18}$), 114.6 ($C^{2,5,11,14}$), 118.9 ($C^{3,4,12,13}$), 122.3 ($C^{3b,12b}$), 126.0 ($C^{1,6,10,15}$), 133.0 ($C^{6a,9b,15a,18b}$), 134.1 ($C^{3a,12a}$). Масс-спектр, *m/z* ($I_{отн}$, %): 583 $[M - H]^+$ (100). Найдено, %: C 77.95; H 7.51; N 14.30. $C_{38}H_{44}N_6$. Вычислено, %: C 78.05; H 7.58; N 14.37.

8,17-Дициклогептил-8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис-[1,10-*ab*]фенален (5). Выход 0.29 г (47%). ИК спектр, см$^{-1}$: 2924, 1584, 1266, 1190, 806, 753. Спектр ЯМР ^{1}H ($CDCl_3$), δ, м.д.: 1.40–1.47 м (4H, CH_2, $H_a^{3',3'',6',6''}$), 1.51–1.59 м (8H, CH_2, $H^{4',4'',5',5''}$), 1.62–1.75 м (8H, CH_2, $H_a^{2',2'',7',7''}$, $H_b^{3',3'',6',6''}$), 1.79–1.88 м (4H, CH_2, $H_b^{2',2'',7',7''}$), 2.87–2.95 м (2H, CH, $H^{1',1''}$), 3.95 уш.с (2H, CH, $H^{15c,15d}$), 4.44 уш.с (8H, CH_2, $H^{7,9,16,18}$), 6.46–6.52 м (4H, CH, $H^{2,5,11,14}$), 6.76–6.87 м (4H, CH, $H^{1,6,10,15}$), 7.05–7.12 м (4H, CH, $H^{3,4,12,13}$). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$), δ, м.д.: 24.6 ($C^{3',3'',6',6''}$), 28.0 ($C^{4',4'',5',5''}$), 31.6 ($C^{2',2'',7',7''}$), 48.8 ($C^{15c,15d}$), 60.5 ($C^{1',1''}$), 65.0 ($C^{7,9,16,18}$), 114.0 ($C^{2,5,11,14}$), 119.4 ($C^{3,4,12,13}$), 122.2 ($C^{3b,12b}$), 126.0 ($C^{1,6,10,15}$), 132.2 ($C^{6a,9b,15a,18b}$), 133.9 ($C^{3a,12a}$). Масс-спектр, *m/z* ($I_{отн}$, %): 611 $[M - H]^+$ (100). Найдено, %: C 78.30; H

7.81; N 13.64. $C_{40}H_{48}N_6$. Вычислено, %: C 78.39; H 7.89; N 13.72.

8,17-Дициклооктил-8,9,15c,15d,17,18-гексагидро-6b,8,9a,15b,17,18a-гексаазагепталенобис-[1,10-*ab*]фенален (6). Выход 0.33 г (52%). ИК спектр, см$^{-1}$: 2924, 1584, 1266, 1152, 802, 753. Спектр ЯМР ^{1}H ($CDCl_3$), δ, м.д.: 1.41–1.52 м (10H, CH_2, $H_a^{3',3'',4',4'',5',5'',6',6'',7',7''}$), 1.54–1.68 м (10H, CH_2, $H_a^{2',2'',8',8''}$, $H_b^{3',3'',5',5'',7',7''}$), 1.75–1.89 м (8H, CH_2, $H_b^{2',2'',4',4'',6',6'',8',8''}$), 2.92 уш.с (2H, CH, $H^{1',1''}$), 3.97 уш.с (2H, CH, $H^{15c,15d}$), 4.49 уш.с (8H, CH_2, $H^{7,9,16,18}$), 6.77 уш.с (4H, CH, $H^{2,5,11,14}$), 6.87 уш.с (4H, CH, $H^{1,6,10,15}$), 7.05–7.11 м (4H, CH, $H^{3,4,12,13}$). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$), δ, м.д.: 24.3 ($C^{4',4'',6',6''}$), 25.9 ($C^{5',5''}$), 27.1 ($C^{3',3'',7',7''}$), 29.5 ($C^{2',2'',8',8''}$), 49.0 ($C^{15c,15d}$), 58.4 ($C^{1',1''}$), 64.6 ($C^{7,9,16,18}$), 114.8 ($C^{2,5,11,14}$), 118.7 ($C^{3,4,12,13}$), 122.4 ($C^{3b,12b}$), 125.9 ($C^{1,6,10,15}$), 133.1 ($C^{6a,9b,15a,18b}$), 134.1 ($C^{3a,12a}$). Масс-спектр, *m/z* ($I_{отн}$, %): 680 $[M + K]^+$ (100). Найдено, %: C 78.61; H 8.10; N 13.04. $C_{42}H_{52}N_6$. Вычислено, %: C 78.71; H 8.18; N 13.11.

БЛАГОДАРНОСТИ

Структурные исследования соединений проведены в Центре коллективного пользования «Агидель» при ИНК УФИЦ РАН.

ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ ИНК УФИЦ РАН по теме «Металлокомплексный и гетерогенный катализ в конструировании макрогетероциклов и гетероатомных соединений» № Гос. Регистрации АААА-А19-119022290010-9 (2019–2021), а также при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-33-00528-мол_а) и Стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам (СП-197.2019.4).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aksenov A.V., Lyakhovnenko A.S., Andrienko A.V., Levina I.I. *Tetrahedron Lett.* **2010**, *51*, 2406. doi 10.1016/j.tetlet.2010.02.129
2. Аксенов А.В., Ляховненко А.С., Спицын А.Н., Аксенова И.В. *ХГС*. **2011**, *47*, 1429. [Aksenov A.V., Lyakhovnenko A.S., Spicin A.N., Aksenova I.V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2011**, *47*, 1180.] doi 10.1007/s10593-011-0891-0
3. Щербаков С.В., Лобач Д.А., Рубин М., Аксенов А.В. *ХГС*. **2014**, *50*, 821. [Shcherbakov S.V., Lobach D.A., Rubin M., Aksenov A.V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, *50*, 757.] doi 10.1007/s10593-014-1531-2
4. Аксенов А.В., Щербаков С.В., Лобач Д.А., Летичевская Н.Н., Васильева Е.А. *ХГС*. **2014**, *50*, 737. [Aksenov A.V., Shcherbakov S.V., Lobach D.A., Letichevskaya N.N., Vasil'eva E.A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, *50*, 677.] doi 10.1007/s10593-014-1520-5
5. Щербаков С.В., Лобач Д.А., Аксенов А.В. *ХГС*. **2014**, *50*, 327. [Shcherbakov S.V., Lobach D.A., Aksenov A.V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, *50*, 300.] doi 10.1007/s10593-014-1476-5
6. Пожарский А.Ф., Дальниковская В.В. *Усп. хим.* **1981**, *50*, 1559. [Pozharskii A.F., Dal'nikovskaya V.V. *Russ. Chem. Rev.* **1981**, *50*, 816.] doi 10.1070/RC1981v050n09ABEH002688
7. Stafforst T., Stadler J.M. *Angew. Chem., Int. Ed*. **2013**, *52*, 12448. doi 10.1002/anie.201306150
8. Vostrowsky O., Hirsch A. *Chem. Rev*. **2006**, *106*, 5191. doi 10.1021/cr050561e
9. Rakhimova E.B., Ismagilov R.A., Meshcheryakova E.S., Khalilov L.M., Ibragimov A.G., Dzhemilev U.M. *Tetrahedron Lett*. **2014**, *55*, 6367. doi 10.1016/j.tetlet.2014.09.122
10. Rakhimova E.B., Kirsanov V.Yu., Zainullin R.A., Ibragimov A.G., Dzhemilev U.M. *Hindawi J Chem*. **2016**, Article ID 8406172. doi 10.1155/2016/8406172
11. Rakhimova E.B., Kirsanov V.Yu., Meshcheryakova E.S., Khalilov L.M., Kutepov B.I., Ibragimov A.G., Dzhemilev U.M. *Tetrahedron*. **2017**, *73*, 6880. doi 10.1016/j.tet.2017.10.048
12. Rakhimova E.B., Kirsanov V.Yu., Meshcheryakova E.S., Khalilov L.M., Ibragimov A.G., Dzhemilev U.M. *Synlett.* **2018**, *29*, 1861. doi 10.1055/s-0037-1610201
13. Рахимова Е.Б., Кирсанов В.Ю., Ибрагимов А.Г., Джемилев У.М. *ЖОрХ*. **2018**, *54*, 1078. [Rakhimova E.B., Kirsanov V.Yu., Ibragimov A.G., Dzhemilev U.M. *Russ. J. Org. Chem.* **2018**, *54*, 1085.] doi 10.1134/S1070428018070199
14. Ji D., Sun J. *Org. Lett*. **2018**, *20*, 2745. doi 10.1021/acs.orglett.8b00951
15. Zhu C., Xu G., Sun J. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2016**, *55*, 11867. doi 10.1002/anie.201606139
16. Peng S., Cao S., Sun J. *Org. Lett.* **2017**, *19*, 524. doi 10.1021/acs.orglett.6b03691
17. Garve L.K.B., Jones P.G., Werz D.B. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2017**, *56*, 9226. doi 10.1002/anie.201704619
18. Пожарский А.Ф., Старщиков Н.М. *ХГС*. **1978**, *14*, 1418. [Pozharskii A.F., Starshikov N.M. *Chem. Heterocycl. Compd.* **1978**, *14*, 1156.] doi 10.1007/BF00469962

19. Пожарский А.Ф. *Усп. хим.* **1998**, *67*, 3. [Pozharskii A.F. *Russ. Chem. Rev.* **1998**, *67*, 1.] doi 10.1070/RC1998v067n01ABEH000377
20. Пожарский А.Ф., Озерянский В.А., Филатова Е.А. *ХГС.* **2012**, *48*, 208. [Pozharskii A.F., Ozeryanskii V.A., Filatova E.A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2012**, *48*, 200.] doi 10.1007/s10593-012-0983-5
21. Пуховская С.Г., Иванова Ю.Б., Семейкин А.С., Голубчиков О.А. *Макрогетероциклы*. **2018**, *11*, 73. doi 10.6060/mhc180167p
22. Мокров Г.В., Лихошерстов А.М., Лезина В.П., Гудашева Т.А., Бушмаринов И.С., Антипин М.Ю. *Изв. АН Сер. Хим.* **2010**, *59*, 1228. [Mokrov G.V., Likhosherstov A.M., Lezina V.P., Gudasheva T.A., Bushmarinov I.S., Antipin M.Yu. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed*. **2010**, *59*, 1254.] doi 10.1007/s11172-010-0230-0
23. Krohn K., Cludius-Brandt S. *Synthesis*. **2010**, *8*, 1344. doi 10.1055/s-0029-1218658
24. Кукушкин Ю.Н. *Реакционная способность координационных соединений*. Л.: Химия, **1987**, 288 с.

Hexahydrohexaazaheptalenobis[1,10-*ab*]phenalenes – A New Type of Azapolycycles

E. B. Rakhimova*, V. Yu. Kirsanov, A. G. Ibragimov, and U. M. Dzhemilev

Institute of Petrochemistry and Catalysis of Russian Academy of Sciences,
450075 Russia, Republic Bashkortostan, Ufa, pr. Oktyabrya 141
**e-mail: rakhimovaelena@mail.ru*

Received February 18, 2019; revised March 26, 2019; accepted April 12, 2019

A method has been developed for the first synthesis of 8,17-disubstituted 8,9,15c,15d,17,18-hexahydro-6b,8,9a,15b,17,18a-hexaazaheptalenobis[1,10-*ab*]phenalenes by the reaction of 2,2',3,3'-tetrahydro-1*H*,1'*H*-2,2'-biperimidine with 1,3,5-tricycloalkyl-1,3,5-triazinanes in the presence of $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ as a catalyst.

Keywords: catalysis, heterocyclization, 1,3,5-triazinanes, perimidines, phenalenes