

УДК 546.271+546.73+547.791

**СИНТЕЗ БИОКОНЬЮГАТОВ ДЛЯ БОР-НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ
РАКА НА ОСНОВЕ БИС(1,2-ДИКАРБОЛЛИД)КОБАЛЬТА РЕАКЦИЕЙ МЕДЬ(I)-
КАТАЛИЗИРОВАННОГО [3+2]-ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ**

© 2013 г.

И.Д. Косенко, И.А. Лобанова, В.И. Брегадзе

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва

kosenko@ineos.ac.ru

Поступила в редакцию 07.11.2012

Описан синтез 1,2,3-триазольных производных бис(1,2-дикарболлид)кобальта с использованием 1,3-диполярного циклоприсоединения реакции [3+2]-циклоприсоединение, а именно «click»-методологии. Показано, что взаимодействие азидопроизводных бис(1,2-дикарболлид)кобальта с производными бис(1,2-дикарболлид)кобальта с терминальной ацетиленовой группой приводит к 1,2,3-триазолам с металлокарборановыми заместителями в положениях 1 и 4. Показана возможность введения галогена в металлокарборановый заместитель синтезированных 1,2,3-триазолов.

Ключевые слова: бис(1,2-дикарболлид)кобальта, азиды, терминальные ацетилены, 1,2,3-триазолы, «click»-методология, галогенирование.

Введение

Одним из новых и перспективных методов лечения рака является бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) [1–4]. Для дальнейшего развития этого метода необходимо получение новых борсодержащих лекарственных препаратов, способных селективно накапливаться в тканях опухоли. Метод БНЗТ основан на селективном накоплении атомов нерадиоактивного изотопа ^{10}B в раковых клетках и последующей их обработке потоком эпитепловых нейтронов. Облучение приводит к селективному разрушению клеток опухоли, при этом практически не затрагивая окружающую здоровую ткань [1, 2, 4].

Борсодержащие препараты должны избирательно накапливаться в тканях опухоли в концентрациях, достаточных для протекания внутриклеточной ядерной реакции. Поэтому существенное значение приобретает количество атомов бора в синтезируемых препаратах. Кроме того, важна направленная доставка бора к опухоли, которую могут осуществлять биоорганические соединения, в частности, аминокислоты, углеводы и нуклеозиды [4–6].

1,2,3-Триазолы являются интересными спейсерами между борной и транспортной частью, так как они химически инертны. Поэтому представляется актуальным синтез соединений, содержащих как триазольный, так и металлокарборановый фрагменты.

«Click»-реакцию, которую широко используют в органической и биоорганической химии [7], мы ранее использовали между алкинами и азидопроизводными на основе бис(1,2-дикарболлид)кобальта [8].

В данной работе мы представляем синтез различных 1,2,3-триазольных производных бис(дикарболлид)кобальта с двумя металлокарборановыми фрагментами в положениях 1 и 4. Также нами изучена реакция галогенирования металлокарборановых фрагментов, связанных с 1,2,3-триазолами.

Обсуждение результатов

Производные бис(дикарболлид)кобальта $[3,3'-\text{Co}(1,2-\text{C}_2\text{B}_9\text{H}_{11})_2]^-$ обладают высокой химической устойчивостью, низкой токсичностью, хорошей растворимостью в воде и достаточно высокой липофильностью [9]. Вследствие этого, в последнее время они привлекают все большее внимание для создания на их основе препаратов для БНЗТ.

В нашей работе мы использовали в качестве исходных соединений алкинильные и азидопроизводные бис(1,2-дикарболлид)кобальта, полученные реакцией нуклеофильного раскрытия циклов диоксанового или тетрагидропиранового производных бис(1,2-дикарболлид)кобальта [4–6, 8].

Взаимодействие азида **1** и алкина **3** в соотношении 1:1 в кипящем ацетонитриле в присутствии катализатора (CuI) и основания (Et_3N) привело после переосаждения CsCl к образованию комплекса **5** с выходом 78 % (схема 1).

Аналогично из пар комплексов **1** и **4** или **2** и **3** синтезированы содержащие различные спейсеры соединения **7** и **6** соответственно.

За ходом реакции синтеза триазольных производных следили по спектрам ЯМР ^1H . Ключевыми

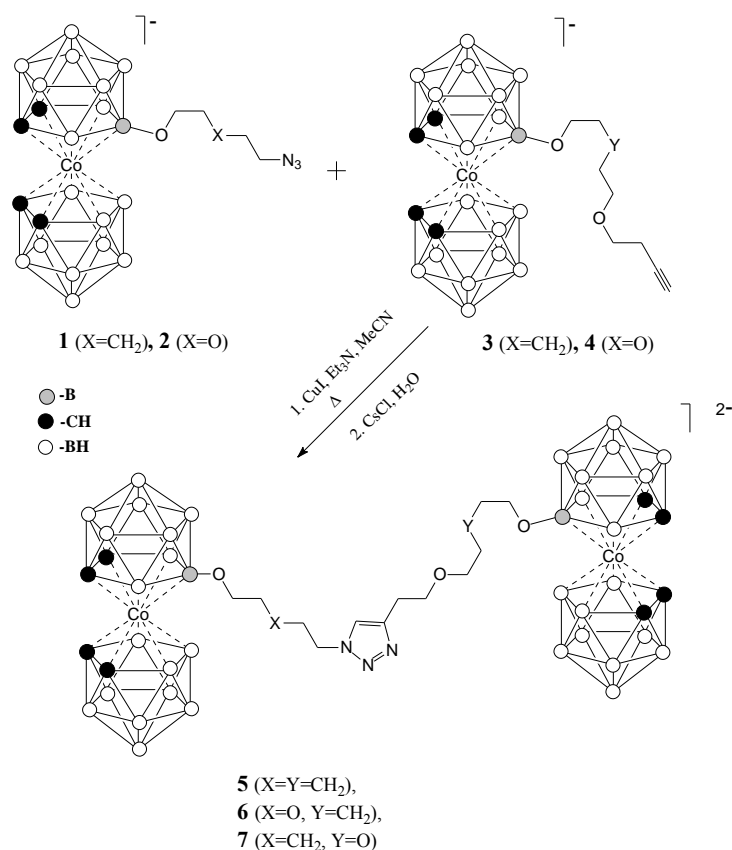


Схема 1

чевым моментом было появление сигнала триазольной группы и исчезновение сигнала протона от ацетиленовой группы.

В спектрах ЯМР ¹H комплексов **5**–**7** наблюдаются сигналы протонов триазольной группы δ = 7.8–8.9 м.д., 1 или 2 характерных синглета в области δ = 4.1–4.7 м.д. от протонов, которые связаны с атомами углерода, входящими в состав дикарболлидных лигандов. В спектрах ЯМР ¹H комплексов **5**, **7** присутствуют пять сигналов от тетрагидропиранового спейсера: триплет от протонов –OCH₂– в области 4.4–4.5 м.д., триплет от протонов –NCH₂– при 3.4–3.5 м.д. и три мультиплета от –(CH₂)₂– в области 1.3–2.1 м.д. Для комплекса **6** наблюдаются 4 сигнала от диоксанового спейсера: 3 сигнала от –OCH₂– в области 4.8–3.4 м.д. и сигнал от –NCH₂– 3.6–3.3 м.д. В спектрах ЯМР ¹¹B всех комплексов имеются синглеты в области 23.0–24.0 м.д. от замещенного атома бора в 8 положении при раскрытом диоксониевом или тетрагидропирановом цикле. В спектрах ЯМР ¹³C для 1,2,3-триазолов **5**–**7** наблюдаются сигналы от двух атомов углерода в триазольном фрагменте в области 145–149 (узловой атом) и в области 121–125 м.д. В масс-спектрах **5**–**7** присутствует молекулярный ион.

Мы исследовали галогенирование ранее полученных 1,2,3-триазольных производных бис(1,2-дикарболлид)кобальта [8]. При взаимодействии комплекса **8** с N-бромсукцинимидом в кипящем ТГФ прошло замещение атома водорода на бром при атоме бора в незамещенном карборановом лиганде в положении 8 (схема 2).

Строение полученного комплекса **9** подтверждено данными ЯМР ¹H, ¹³C, ¹¹B и масс-спектрометрии. Так, в спектре ЯМР ¹¹B имеется синглет от атома бора, связанного с атомом кислорода при 21.7 м.д. Второй синглет наблюдается от атома бора, связанного с атомом брома, при 5.4 м.д., что характерно для 8-бромзамещенных бис(1,2-дикарболлидов) [10, 11]. Аналогичное замещение происходило в реакции комплекса **10** с иодом в метаноле при кипячении (схема 3).

Возможность замещения атома галогена на функциональные группы или биоорганические молекулы, которые могут селективно доставлять препараты в опухолевые клетки, является важным для использования препаратов в БНЗТ.

Все полученные вещества устойчивы на воздухе в твердом виде, а в растворах медленно разлагаются. Синтезированные соединения представляют собой оранжевые кристаллические вещества, хорошо растворимые в Me₂CO, MeOH, EtOH, MeCN, умеренно растворимые в

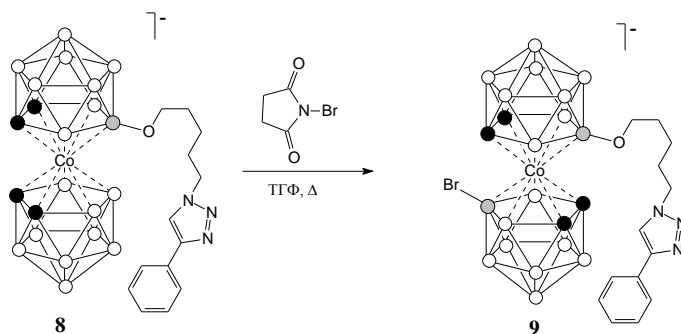


Схема 2

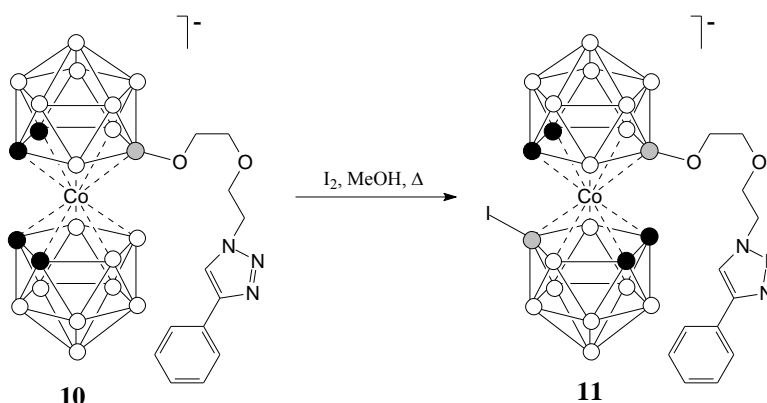


Схема 3

CH_2Cl_2 , CHCl_3 , Et_2O и плохо растворимые в воде, бензоле и *n*-гексане.

Таким образом, нами отработана «click»-методология для получения комплексов, содержащих 36 атомов бора, где 1,2,3-триазолы содержат в положениях 1 и 4 кобальт бис(1,2-дикарболлид)ные заместители. Показана возможность введения второго заместителя в свободный карборановый остов галогенированием металлокарборановых фрагментов, связанных с 1,2,3-триазолами.

Экспериментальная часть

Спектры ^1H , ^{11}B , $^{11}\text{B}\{^1\text{H}\}$ и ^{13}C ЯМР регистрировали на приборах Bruker AM300, Bruker Avance-400 и Bruker Avance-600. Остаточный сигнал ЯМР растворителя по отношению к тетраметилсилану принят в качестве внутреннего стандарта для ^1H ЯМР и ^{13}C ЯМР-спектров. Для спектров ЯМР ^{11}B в качестве внешнего стандарта – $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$.

Масс-спектры методом электронного удара (EI-MS) были зарегистрированы на приборе Kratos MS890, работающем в диапазоне масс m/z 50–800. Масс-спектры отрицательного иона методом ионизации электроспреем (ESI) были зарегистрированы на приборе микроОТФ II (Bruker

Daltonics), работающем в диапазоне масс m/z 50–3000. Масс-спектры методом MALDI были зарегистрированы на приборе Bruker Daltonics Autoflex II с использованием в качестве матрицы *транс*-2-[3-(4-*трет*-бутилфенил)-2-метил-2-пропилиден]ма-лонитрил (DCTB).

Ход реакций контролировали с помощью тонкослойной хроматографии на пластинках Kieselgel 60 F245 (Merck). Для колоночной хроматографии использовался силикагель Acros organics (0.060–0.200 мм). Все растворители были очищены и осушены согласно стандартным методикам. Соединения **1**, **3**, **4** синтезированы по ранее опубликованной методике [8]. Синтез соединения **2** описан в статье [5].

Общая методика получения 1,2,3-триазолов (**5**–**7**)

К раствору азиды в 20 мл ацетонитрила добавили алкин, 5 мг CuI и 1–2 капли триэтиламина, кипятили 24–60 ч при перемешивании. После охлаждения отфильтровали реакционную смесь и упарили растворитель. Остаток растворили в небольшом количестве ацетона и добавили водный раствор CsCl . Отфильтровали полученный желтый осадок, высушили на воздухе, перекристаллизовали из смеси $\text{MeCN}:\text{CH}_2\text{Cl}_2:n\text{-гексан}$. Отфильтровали и высушили в вакууме.

Комплекс 5

Из 0.12 г (0.23 ммоль) соединения **2** и 0.12 г (0.23 ммоль) соединения **4** за 44 ч получено 0.21 г (78%). Спектр ЯМР ^1H (ацетон- d_6 , δ , м.д.): 8.00 (с ушир., 1 H, $\text{N}_3\text{C}_2\text{H}$), 4.84–4.54 (м, 4 H, OCH_2), 4.29 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.26 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.23 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.18 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.06–3.99 (м, 2 H, OCH_2), 3.49–3.44 (м, 4 H, OCH_2 , CH_2N), 3.12–3.04 (м, 2 H, CH_2), 1.58–1.33 (м, 12 H, CH_2). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон- d_6 , δ , м.д.): 143.6 (CN_3CH), 121.3 (CN_3CH), 70.3, 68.8, 68.4, 65.5 (CH_2O), 55.3 (CH_2N), 54.3, 54.1, 54.0, 46.4 ($\text{C}_{\text{карб}}$), 31.7, 31.1, 29.8, 29.7, 23.6, 22.9, 22.5 (CH_2). Спектр ЯМР ^{11}B (ацетон- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 23.0 (с, 2 В, В(8) – О), 3.8 (д, 2 В, $J = 128$), 0.1 (д, 2 В, $J = 130$), –2.5 (д, 2 В, $J = 144$), –4.4 (д, 4 В, $J = 151$), –6.7 ÷ –9.5 (м, 12 В), –17.4 (д, 4 В, $J = 151$), –20.4 (д, 4 В, $J = 156$), –22.1 (д, 2 В, $J = 164$), –28.6 (д, 2 В, $J = 114$). Масс-спектр ESI, найдено: m/z 464.3463 [M^2]; [$\text{C}_{22}\text{H}_{67}\text{B}_{36}\text{Co}_2\text{N}_3\text{O}_3$] $^{2-}$; вычислено: m/z 464.4196.

Комплекс 6

Из 0.10 г (0.19 ммоль) соединения **1** и 0.10 г (0.19 ммоль) соединения **4** за 21 ч получено 0.23 г (70%). Спектр ЯМР ^1H (ацетон- d_6 , δ , м.д.): 8.26 (с ушир., 1 H, $\text{N}_3\text{C}_2\text{H}$), 4.71–4.58 (м, 2 H, OCH_2), 4.26 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.19 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.17 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.12 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.05–3.91 (м, 2 H, CH_2O), 3.68–3.62 (м, 2 H, CH_2O), 3.61–3.54 (м, 4 H, CH_2O), 3.48–3.40 (м, 4 H, CH_2O , CH_2N), 3.10–3.01 (м, 2 H, ($\text{N}_3\text{C}_2\text{H}$) CH_2), 1.64–1.54 (м, 2 H, CH_2), 1.51–1.45 (м, 2 H, CH_2), 1.41–1.33 (м, 2 H, CH_2). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон- d_6 , δ , м.д.): 145.7 (CN_3CH), 121.5 (CN_3CH), 73.9, 71.8, 69.3, 69.0, 65.4, 65.2 (CH_2O), 49.2 (CH_2N), 54.2, 52.8, 46.8, 46.5 ($\text{C}_{\text{карб}}$), 31.8, 29.9, 23.6, 21.8 (CH_2). Спектр ЯМР ^{11}B (ацетон- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 23.7 (с, 1 В, В(8) – О), 23.1 (с, 1 В, В(8) – О), 5.2 (д, 1 В, $J = 161$), 3.8 (д, 1 В, $J = 142$), 0.2 (д, 2 В, $J = 132$), –2.5 (д, 2 В, $J = 142$), –4.5 (д, 2 В, $J = 142$), –6.2 ÷ –10.1 (м, 14 В), –17.3 (д, 4 В, $J = 137$), –20.4 (д, 4 В, $J = 149$), –21.7 ÷ –25.0 (м, 2 В), –26.6 ÷ –31.0 (м, 2 В). Масс-спектр ESI, найдено: m/z 465.3631 [M^2]; [$\text{C}_{21}\text{H}_{65}\text{B}_{36}\text{Co}_2\text{N}_3\text{O}_4$] $^{2-}$; вычислено: m/z 465.3957.

Комплекс 7

Из 0.10 г (0.19 ммоль) соединения **2** и 0.10 г (0.19 ммоль) соединения **3** за 21 ч получено 0.15 г (65%). Спектр ЯМР ^1H (ацетон- d_6 , δ , м.д.): 8.69 (с ушир., 1 H, $\text{N}_3\text{C}_2\text{H}$), 4.71–4.47 (м, 2 H, OCH_2), 4.23 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.14 (с, 4 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.07 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.02–3.91 (м, 2 H, CH_2O), 3.90–3.75 (м, 6 H, CH_2O), 3.51–3.39 (м, 4 H, CH_2O , CH_2N), 3.10–3.03 (м, 2 H, ($\text{N}_3\text{C}_2\text{H}$) CH_2), 1.59–1.47 (м, 4 H, CH_2), 1.43–1.32 (м, 2 H, CH_2). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон- d_6 , δ , м.д.): 149.8 (CN_3CH), 118.9 (CN_3CH), 71.3, 71.2, 70.9, 70.0, 69.9, 68.4 (CH_2O), 55.2 (CH_2N), 54.0, 53.0, 46.6, 46.4 ($\text{C}_{\text{карб}}$), 31.1, 29.8, 23.5, 22.7 (CH_2). Спектр ЯМР ^{11}B (ацетон- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 24.0 (с, 1

В, В(8) – О), 23.4 (с, 1 В, В(8) – О), 5.7 (д, 1 В, $J = 154$), 4.3 (д, 1 В, $J = 130$), 0.3 (д, 2 В, $J = 113$), –2.5 (д, 2 В, $J = 130$), –3.7 ÷ –5.4 (м, 2 В), –5.7 ÷ –10.2 (м, 14 В), –17.3 (д, 4 В, $J = 97$), –20.3 (д, 4 В, $J = 118$), –21.4 ÷ –24.3 (м, 2 В), –26.1 ÷ –30.8 (м, 2 В). Масс-спектр ESI, найдено: m/z 465.3635 [M^2]; [$\text{C}_{21}\text{H}_{65}\text{B}_{36}\text{Co}_2\text{N}_3\text{O}_4$] $^{2-}$; вычислено: m/z 465.3957.

Синтез комплекса 9

Раствор 0.10 г (0.15 ммоль) соединения **8** в ТГФ и 0.06 г (0.34 ммоль) *N*-бромсукцинимиды кипятили 7 ч при перемешивании. После охлаждения отфильтровали реакционную смесь и удалили растворитель в вакууме. Остаток растворили в небольшом количестве ацетона и добавили водный раствор CsCl. Полученный осадок хроматографировали на колонке с SiO_2 (элюент – $\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{MeCN} = 5/1$). Получено 0.10 г (91%). Спектр ЯМР ^1H (ацетон- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 8.37 (с, 1 H, $\text{N}_3\text{C}_2\text{H}$), 7.90 (д, 2 H, *Ph*, $J = 7.0$), 7.43 (т, 2 H, *Ph*, $J = 7.3$), 7.33 (т, 2 H, *Ph*, $J = 7.3$), 4.46 (т, 2 H, OCH_2 , $J = 7.3$), 4.30 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.25 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 3.41 (м, 2 H, CH_2N), 1.97 (м, 2 H, CH_2), 1.54 (м, 2 H, CH_2), 1.39 (м, 2 H, CH_2). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон- d_6 , δ , м.д.): 147.1 (CN_3CH), 131.8 (*n*-*Ph*), 128.7 (*m*-*Ph*), 128.1 (*C_{ipso}*(*Ph*)), 125.8 (*o*-*Ph*), 121.1 (CN_3CH), 68.5 (CH_2O), 51.7 ($\text{C}_{\text{карб}}$), 49.9 (CH_2N), 45.7 ($\text{C}_{\text{карб}}$), 31.1 (CH_2), 29.9 (CH_2), 23.1 (CH_2). Спектр ЯМР ^{11}B (ацетон- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 21.7 (с, 1 В, В(8) – О), 5.4 (с, 1 В, В(8') – Br), –1.3 (д, 2 В, $J = 133$), –6.2 (д, 6 В, $J = 142$), –7.5 (д, 2 В, $J = 149$), –18.9 (д, 2 В, $J = 137$), –19.8 (д, 2 В, $J = 145$), –25.0 (д, 1 В, $J = 151$), –27.3 (д, 1 В, $J = 127$). Масс-спектр ESI, найдено: m/z 634.3108 [M]; [$\text{C}_{17}\text{H}_{36}\text{B}_{18}\text{BrCoN}_3\text{O}$]; вычислено: m/z 634.3048.

Синтез комплекса 11

Раствор 0.10 г (0.15 ммоль) соединения **10** в метаноле и 0.05 г (0.20 ммоль) иода кипятили 29 ч при перемешивании. После охлаждения отфильтровали реакционную смесь и упарили растворитель. Остаток растворили в небольшом количестве ацетона и добавили водный раствор CsCl. Полученный осадок хроматографировали на колонке с SiO_2 (элюент – $\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{MeCN} = 5/1$). Получено 0.10 г (83%). Спектр ЯМР ^1H (ацетон- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 8.32 (с, 1 H, $\text{N}_3\text{C}_2\text{H}$), 7.91 (д, 2 H, *Ph*, $J = 7.0$), 7.44 (т, 2 H, *Ph*, $J = 7.6$), 7.33 (т, 1 H, *Ph*, $J = 7.3$), 4.64 (т, 2 H, OCH_2 , $J = 5.1$), 4.53 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 4.23 (с, 2 H, $\text{CH}_{\text{карб}}$), 3.92 (т, 2 H, OCH_2 , $J = 5.4$), 3.56 (м, 4 H, OCH_2 , CH_2N). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон- d_6 , δ , м.д.): 146.9 (CN_3CH), 131.5, 128.7, 127.6, 125.4 (*Ph*), 121.1 (CN_3CH), 71.7, 69.2, 68.2 (OCH_2), 56.5 ($\text{C}_{\text{карб}}$), 54.5 ($\text{C}_{\text{карб}}$), 50.0 (NCH_2). Спектр ЯМР ^{11}B (ацетон- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 21.6 (с, 1 В, В(8) – О), –0.4 (д, 2 В, $J = 111$), –5.6 (м, 9 В), –17.9 (д, 2 В, $J = 156$), –19.9 (д, 2 В, $J = 161$), –23.2 (д, 1 В, $J = 144$), –27.2 (д, 1 В, $J = 151$). Масс-спектр

ESI, найдено: m/z 684.2709 [M]⁺; [C₁₆H₃₄B₁₈CoIN₃O₂]⁺; вычислено: m/z 684.2703.

Благодарим Гущина Алексея Владимировича и Мальшеву Юлию Борисовну за помощь в работе и регистрацию ЯМР-спектров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-03-00698) и гранта ФЦП «Кадры» по мероприятию 1.4 (заявка № 2012-1.4-12-000-1013).

Список литературы

1. Hawthorne M.F. // *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.* 1993. V. 32. P. 950–984.
2. Soloway A.H., Tjarks W., Barnum B.A., Rong F.G., Barth R.F., Codogni I.M., Wilson J.G. // *Chem. Rev.* 1998. V. 98. P. 1515–1562.
3. Сиваев И.Б., Брегадзе В.И. // *Рос. хим. журн.* 2004. Т. 48. С. 109–125.
4. Sivaev I.B., Bregadze V.I. // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2009. P. 1433–1450.
5. Wojtczak B.A., Andrysiak A., Grüner B., Lesnikowski Z.J. // *Chem. Eur. J.* 2008. V. 14. P. 10675–10682.
6. Bregadze V.I., Semioshkin A.A., Las'kova J.N., Berzina M.Ya., Lobanova I.A., Sivaev I.B., Grin M.A., Titeev R.A., Brittal D.I., Ulybina O.V., Chestnova A.V., Ignatova A.A., Feofanov A.V., Mironov A.F. // *Appl. Organometal. Chem.* 2009. V. 23. P. 370–374.
7. Kolb H.C., Sharpless K.B. // *Drug Discovery Today.* 2003. V. 8. P. 1128–1137.
8. Косенко И.Д., Лобанова И.А., Чекулаева Л.А., Годовиков И.А., Брегадзе В.И. // *Изв. АН. Сер. хим.* 2012 (в печати).
9. Sivaev I.B., Bregadze V.I. // *Collect. Czech. Chem. Commun.* 1999. V. 64. P. 783–805.
10. Matel L., Macasek F., Rajec P., Hermanek S., Plesek J. // *Polyhedron.* 1982. V. 1. P. 511–519.
11. Косенко И.Д., Лобанова И.А., Сиваев И.Б., Петровский П.В., Брегадзе В.И. // *Изв. АН, Сер. хим.*

SYNTHESIS OF BIOCONJUGATES FOR BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY OF CANCER BASED ON COBALT BIS(1,2-DICARBOLLIDE) VIA THE [3+2] CU(I) CATALYZED CYCLOADDITION OF AZIDES TO ALKYNES

I.D. Kosenko, I.A. Lobanova, V.I. Bregadze

The paper describes the synthesis of 1,2,3-triazole derivatives of bis (1,2-dicarbollide) cobalt using 1,3-dipolar cycloaddition reaction of [3 + 2] cycloaddition, namely the «click»-methodology.

It is shown that the interaction of azido derivatives of cobalt bis (1,2-dicarbollide) with derivatives of cobalt bis (1,2-dicarbollide) with a terminal acetylene group leads to 1,2,3-triazoles with metal carboran substitutes at sites 1 and 4. The possibility is shown of introducing a halogen into the metal carboran substitute of the synthesized 1,2,3-triazoles.

Keywords: cobalt bis(1,2-dicarbollide), azides, terminal acetylenes, 1,2,3-triazoles, click chemistry methods, halogenation.

2011. Т. 11. С. 2308–2311.