

УДК 547.586.5 + 548.737

ВЛИЯНИЕ НУКЛЕОФИЛЬНЫХ ДОБАВОК НА СОСТАВ ПРОДУКТОВ ТРАНСАННУЛЯРНОЙ ЦИКЛИЗАЦИИ НОРБОРНАДИЕНА ПРИ ДЕЙСТВИИ F-TEDA-BF₄ И БРОМОСУКЦИНИМИДА

Л.Ф.Лурье, М.В.Пономаренко, Ю.А.Сергучев

Институт органической химии НАН Украины
02094, г. Киев, ул. Мурманская, 5. E-mail: serguch@gmail.com*Ключевые слова:* циклизация; норборнадиен; нортрицикланы; F-TEDA-BF₄; бромосукцинимид*Исследована трансаннулярная циклизация норборнадиена при действии F-TEDA-BF₄ и бромосукцинимидом в присутствии тетрабутиламмония дигидротрифторида в протонодонорных и нуклеофильных растворителях. Основными продуктами этих реакций являются функциональные фторо- и бромонортрицикланы.***THE EFFECT OF NUCLEOPHILIC ADDITIONS ON THE COMPOSITION OF TRANSANNULAR CYCLIZATION PRODUCTS OF NORBORNADIENE WITH F-TEDA-BF₄ AND BROMOSUCCINIMIDE**

L.F.Lourie, M.V.Ponomarenko, Yu.O.Serguchev

*Transannular cyclization of norbornadiene with F-TEDA-BF₄ and bromosuccinimide in the presence of tetrabutylammonium dihydrotrifluoride in proton-donor and nucleophilic solvents has been investigated. Functional fluoro- and bromonortricyclanes are the basic products of these reactions.***ВПЛИВ НУКЛЕОФІЛЬНИХ ДОБАВОК НА СКЛАД ПРОДУКТІВ ТРАНСАНУЛЯРНОЇ ЦИКЛІЗАЦІЇ НОРБОРНАДІЄНУ ПРИ ДІЇ F-TEDA-BF₄ ТА БРОМОСУКЦИНІМІДУ**

Л.Ф.Лур'є, М.В.Пономаренко, Ю.О.Сергучов

Досліджено трансанулярну циклізацію норборнадієну при дії F-TEDA-BF₄ та бромосукциніміду в присутності тетрабутиламонію дигідротрифториду в протонодонорних та нуклеофільних розчинниках. Знайдено, що основними продуктами цих реакцій є функціональні фторо- і бромонортрициклани.

Важность разработки селективных методов синтеза соединений, содержащих норборнанный и нортрицикланный циклы состоит в том, что они близки по структуре к природным терпенам, а ряд их производных проявляет активность при лечении неврологических заболеваний [1-5]. Простыми и удобными методами синтеза производных нортрициклана являются реакции трансаннулярной циклизации норборнадиена с электрофильными и радикальными реагентами, многочисленные ссылки на которые собраны в работах [6, 7]. Среди этих реакций особый интерес вызывают реакции фторирования норборнадиена, количество которых в литературе ограничено. Электрофильная фторциклация норборнадиена проводилась только с использованием труднодоступного, дорогого ксенона дифторида, которая привела к образованию трех продуктов: 3-эндо,5-экзодифторонортрициклана, 3-экзо,5-экзодифторонортрициклана и 2-экзо,7-син-дифторонорборнена-5 [8]. Несколько работ посвящено синтезу фторированных нортрицикланов при электрофильной циклизации норборнадиена с участием в реакции соединений, являющихся источниками фторид-

анионов. Описано галофторирование норборнадиена N-бромосукцинимидом (NBS) и N-хлоросукцинимидом (NCS) в присутствии реагента Ола (HF/Py) [9], а также бромфторирование в присутствии комплекса триэтиламина с фтористым водородом (Et₃N/3HF) [7], ацилирование с использованием ацилтетрафторобората [10], йодифторирование бис(коллидин)йодотетрафтороборатом [11], эпоксирирование с последующим раскрытием эпоксидного кольца комплексом Et₃N/HF [12].

Ранее для синтеза фтороадамантанов трансаннулярной циклизацией диенов бициклононанового ряда мы использовали безопасный, доступный электрофильный N-F реагент 1-хлорометил-4-фторо-1,4-дiazониабицикло[2.2.2]октан бис(тетрафтороборат), известный как F-TEDA-BF₄ или Selectfluor [13, 14], и галосукцинимиды в присутствии тетрабутиламмония дигидротрифторида (Bu₄N⁺H₂F₃⁻) в качестве мягкого источника фторида анионов [15].

В настоящей работе с целью селективного синтеза функционально-замещенных фторонортрицикланов мы исследовали трансаннулярную циклизацию норборнадиена при действии F-TEDA-

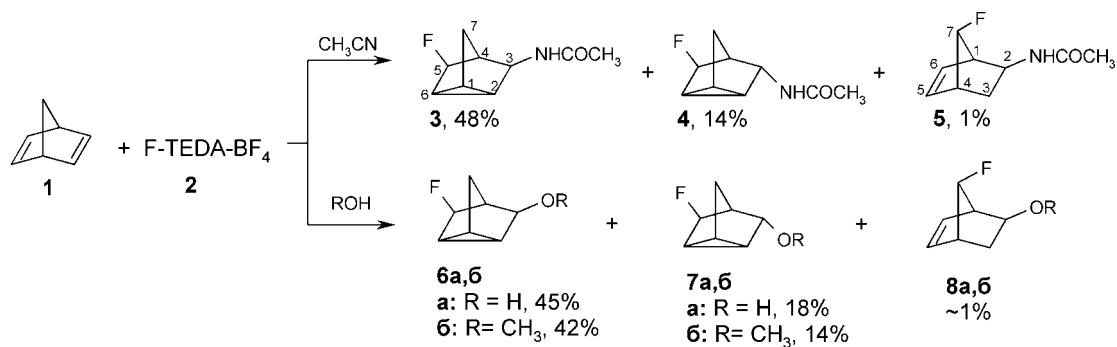


Схема 1

BF₄ и бромосукцинимид в присутствии тетрабутиламмония дигидротрифторида в протонодонорных (воде, этаноле) и нуклеофильных (ТГФ, ацетонитрил) растворителях.

Установлено, что фторциклизация норборнадиена в протонных растворителях и ацетонитриле протекает с участием молекул растворителя и приводит к образованию с высоким выходом функционально-замещенных фторонортрициклов (**3**, **4**, **6a,б** и **7a,б**) и в следовых количествах к перегруппированному фторонорборнену (**5**, **8a,б**, схема 1).

Строение продуктов **3-8** доказано спектрами ¹H, ¹⁹F и ¹³C ЯМР и хорошо согласуется с литературными спектральными данными для известных фторированных нортрициклов [7, 10, 12]. На положение сигналов фтора в спектрах ¹⁹F ЯМР и сигналов протонов Н-3 и Н-5 в ПМР спектрах для пар соединений **3-4**, **6a-7a** и **6б-7б** влияет взаимное положение заместителей в 3-м и 5-м положении каркаса нортрициклов относительно друг друга. Особенно сильное влияние электронного окружения проявляется в химических сдвигах сигналов фтора и протона Н-5 в соответствующих спектрах продуктов **3-4**, **6a-7a** и **6б-7б**. Так, *экзо*-расположение заместителя в 3-м положении приводит к сдвигу дублетов (*J*_{FH} ~ 59 Гц) фтора в ¹⁹F ЯМР в слабое поле (–192–194 м.д. для **3**, **6a,б**) в сравнении с положением дублетов (*J*_{FH} ~ 59 Гц) фтора для соединений с 3-*эндо*-заместителем (–206–208 м.д. для **4**, **7a,б**). И аналогично, пространственная близость 3-*эндо*-заместителя к протону Н-5 приводит к сдвигу дублетов мультиплетов (*J*_{FH} ~ 59 Гц) последнего в ПМР-спектрах в слабое поле (5,0–5,3 м.д. для **4**, **7a,б**) сравнительно с 3-*экзо*-замещенными продуктами (4,5–4,7 м.д. для **3**, **6a,б**). Также, *экзо*-расположение атома фтора в **6a-7a** и **6б-7б** влияет на химический сдвиг

протона Н-3, сигнал которого для 3-*эндо*-замещенных продуктов более слабопольный (4,03 м.д. — **7a**; 3,53 м.д. — **7б**), чем для 3-*экзо*- (3,83 м.д. — **6a**; 3,35 — **6б**), для продуктов **3** и **4** слабопольный сдвиг протона Н-3 практически незаметен. *Экзо*-ориентация фтора в продуктах **3**, **6a** и **7a** подтверждается наличием константы спин-спинового взаимодействия фтора с углеродом С-3 (*J*_{CF} = 4,2–5,4 Гц), что также согласуется с литературными данными [7, 12]. Преимущественное *экзо*-присоединение атома фтора к двойной связи норборнадиена соответствует известной закономерности, которая заключается в том, что *эндо*-атака норборнадиена электрофилами затруднена [7, 8, 16].

Продукты **5** и **8** легко идентифицировать по наиболее слабопольному сдвигу дублета (–176 м.д., *J* ~ 59 Гц) атома фтора в 7-м положении каркаса по спектру ¹⁹F ЯМР в сравнении с сигналами атома фтора в 5-м положении. Наличие двойной связи в продуктах **5** и **8** подтверждается характерными сигналами протонов у sp²-гибридизованных атомов углерода в области 5,9–6,0 м.д в спектрах ПМР.

В результате реакции норборнадиена **1** с NBS в дихлорметане в присутствии (*n*-C₄H₉)₄N⁺H₂F₃[–] как донора фтор-аниона с высоким выходом образуются трицикланы **12**, **13** (схема 2). Неожиданным и важным результатом является соотношение полученных изомеров: выход 3-*экзо*-бromo-5-*эндо*-фторонортрициклана (**12**) в 2,1 раза больше, чем выход 3-*экзо*-bromo-5-*эндо*-фторо-продукта (**13**) (табл.). Противоположный результат был описан Хауфе [7] при проведении аналогичной реакции диена **1** с использованием в качестве источников фторид-аниона реагента Ола или Et₃N/3HF, в которой соотношение нортрициклов **12** и **13** противоположное полученному нами результату (табл.).

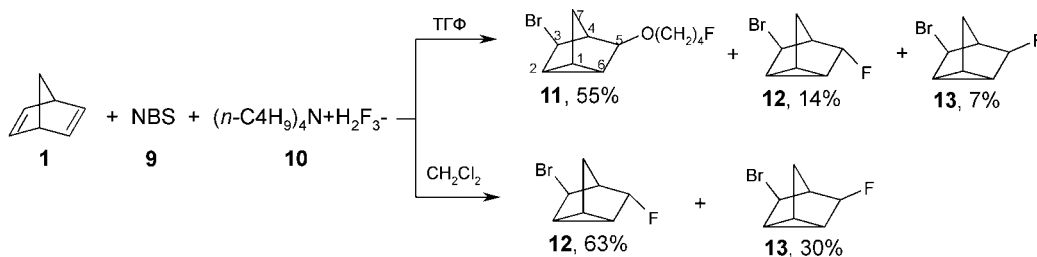


Схема 2

Таблица

Соединения-источники фторид-анионов	Выход 13 , %	Выход 12 , %	12/13
$\text{Bu}_4\text{N}^+\text{H}_2\text{F}_3^-$	30	63	2,1
$\text{Et}_3\text{N}/3\text{HF}$ [7]	57	38	0,67
Py/HF [7]	66	34	0,51

Проведение бромфторирования норборнадиена **1** в тетрагидрофуране с NBS в присутствии $(n\text{-C}_4\text{H}_9)_4\text{N}^+\text{H}_2\text{F}_3^-$ приводит к каскадной реакции с внедрением молекулы тетрагидрофурана в нортрицикловый каркас с последующим разрывом цикла ТГФ и присоединением к образовавшемуся первичному δ -карбокатиону фторид-аниона, аналогично подобной реакции с диенами бисцикло[3.3.1]нонанового ряда [15], в результате чего с высоким выходом был получен продукт **11** (55%) (схема 2). Строение продукта **11** подтверждается спектрами ^1H , ^{19}F и ^{13}C ЯМР. В спектре ^{19}F ЯМР наблюдается характерный триплет триплетов атома фтора с константами спин-спинового взаимодействия с протонами соседних CH_2 групп ($-219,5$, тт, $^2J_{\text{HF}} = 48,5$ Гц, $^3J_{\text{HF}} = 24,3$ Гц). Характерные мультиплеты с соответствующими константами спин-спинового взаимодействия с атомом фтора были обнаружены и в ПМР-спектре ($4,44$, дт, $^2J_{\text{FH}} = 48,3$ Гц, $^3J_{\text{HH}} = 6,2$ Гц), и в спектре ^{13}C ЯМР ($83,8$, д, $^1J_{\text{CF}} = 163,5$ Гц, CH_2F).

В качестве побочных продуктов при проведении каскадной реакции в ТГФ образуются продукты бромфторирования **12** и **13** с соотношением аналогичным реакции в дихлорометане.

Реакция норборнадиена **1** с F-TEDA-BF₄ в ТГФ не проходит в течение длительного времени, что, вероятно, связано с низкой полярностью ТГФ и очень слабой растворимостью фторирующего реагента в последнем.

Экспериментальная часть

^1H , ^{13}C , ^{19}F ЯМР спектры сняты на приборе Varian VXR-300 при 299,9, 75,3 и 282,2 МГц соответственно, с использованием CDCl_3 как растворителя и TMS или CCl_3F как внутренние стандарты. Масс-спектры получены на приборе MX-1321 при 70 eV. Для ТСХ использовали пластины Silufol UV-254.

Общая процедура фторирования норборнадиена реагентом F-TEDA-BF₄ в ацетонитриле и протонных растворителях

Смесь 0,45 г (4,9 ммоль) норборнадиена, 1,65 г (5,0 ммоль) F-TEDA-BF₄ в 25 мл растворителя (CH_3CN , H_2O , CH_3OH) перемешивали при комнатной температуре 15-30 ч. Контроль осуществляли по ТСХ. Реакционные смеси с метанолом и ацетонитрилом упаривали почти досуха, прибавляли 25 мл воды и 25 мл хлороформа, а в реакции с водой прибавляли только 25 мл хлороформа, встряхивали, водный слой отделяли, экстрагировали 3×25 мл CHCl_3 объединенные экстракты, сушили над Na_2SO_4 , растворитель упаривали. Чистые продукты выделяли с помощью колоночной хроматографии на силикагеле (Geduran Si-60, 0,063-0,2 mm, Merck), элюент пентан : диэтиловый эфир (1 : 1).

3-Экзо-ацетиамидо-5-экзо-фторонортрициклан (3), белые кристаллы, выход — 48%, Т. пл. — 140-141°C. ^1H ЯМР (CDCl_3) δ : 1,42-1,64 (м, 4H, H-1, H-2,

H-6, H-7), 1,95-1,99 (м, 4H, H-7, CH_3), 2,31 (шир.с. 1H, H-4), 3,90 (дм, 1H, $^3J_{\text{HH}} = 7,8$ Гц, H-3), 4,72 (дм, $^2J_{\text{CF}} = 58,2$ Гц), 5,38 (шир.с., 1H, NH). ^{19}F ЯМР (CDCl_3) δ : $-194,3$ (д, $^2J_{\text{FH}} = 58,2$ Гц). ^{13}C ЯМР (CDCl_3) δ : 12,3 (с, C-2), 17,4 (д, $^2J_{\text{CF}} = 25,0$ Гц, C-6), 19,2 (д, $^3J_{\text{CF}} = 5,4$ Гц, C-1), 23,5 (с, CH_3), 27,1 (с, C-7), 38,8 (д, $^2J_{\text{CF}} = 15,4$ Гц, C-4), 50,4 (д, $^3J_{\text{CF}} = 4,8$ Гц, C-3), 94,9 (д, $^1J_{\text{CF}} = 191,5$ Гц, C-5), 169,7 (с, C=O). МС, m/z (%): 169(25) $[\text{M}]^+$, 149(8), $[\text{M} - \text{HF}]^+$, 106(51) $[\text{M} - \text{F} - \text{COCH}_3]^+$, 84 (64) $[\text{C}_5\text{H}_5\text{F}]^+$, 43 (100), $[\text{COCH}_3]^+$.

3-Экзо-ацетиамидо-5-эндо-фторонортрициклан (4), белые кристаллы, выход — 14%. ^1H ЯМР (CDCl_3) δ : 1,35-1,62 (м, 4H, H-1, H-2, H-6, H-7), 1,95-1,99 (м, 4H, H-7, CH_3), 2,20 (шир.с. 1H, H-4), 3,85 (м, 1H, H-3), 4,98 (дм, $^2J_{\text{CF}} = 58,7$ Гц), 5,84 (шир.с., 1H, NH). ^{19}F ЯМР (CDCl_3) δ : $-207,5$ (д, $^2J_{\text{FH}} = 58,7$ Гц).

2-Экзо-ацетиамидо-7-син-фторонорборн-5-ен (5), белые кристаллы, выход — 1%, Т. пл. — 66-68°C. ^1H ЯМР (CDCl_3) δ : 1,55 (ддд 1H, $^2J_{\text{HH}} = 12,6$ Гц, $^3J_{\text{HH}2} = 7,6$ Гц, $^4J_{\text{HH}7} = 3,6$ Гц, H-3эндо), 1,86-1,97 (м, 1H, H-3экзо), 1,95 (с, 3H, CH_3), 2,72 (шир.с., 1H, H-4), 2,87 (м, 1H, H-1), 4,12 (м, 1H, H-2), 4,57 (дм, 1H, $^2J_{\text{HF}} = 59,1$ Гц, H-7), 5,89 (шир.с., 1H, NH), 6,00 (м, 2H, H-5, H-6). ^{19}F ЯМР (CDCl_3) δ : $-176,3$ (д, CFH, $^2J_{\text{FH}} = 59,1$ Гц). ^{13}C ЯМР (CDCl_3) δ : 23,6 (с, CH_3), 31,0 (с, C-3), 43,9 (д, $^2J_{\text{CF}} = 17,6$ Гц, C-4), 48,3 (д, $^3J_{\text{CF}} = 3,4$ Гц, C-2), 50,0 (д, $^2J_{\text{CF}} = 14,9$ Гц, C-1), 99,8 (д, $^1J_{\text{CF}} = 208,6$ Гц, C-7), 132,2 (д, $^3J_{\text{CF}} = 9,8$ Гц, C-5 или C-6), 134,9 (д, $^3J_{\text{CF}} = 6,8$ Гц, C-5), 169,5 (с, C=O). МС, m/z (%): 149 (30), $[\text{M} - \text{HF}]^+$, 107 (25), $[\text{M} - \text{F} - \text{COCH}_3]^+$, 84(13), $[\text{C}_5\text{H}_5\text{F}]^+$, 43 (100), $[\text{COCH}_3]^+$.

3-Экзо-гидрокси-5-экзо-фторонортрициклан (6a), белые кристаллы, выход — 42%, Т. пл. — 80-82°C. ^1H ЯМР (CDCl_3) δ : 1,45-1,62 (м, 4H, H-1, H-2, H-6, OH), 1,85 (дм, 1H, АВ, $^2J_{\text{HH}} = 10,5$ Гц, H-7), 1,93 (дм, 1H, АВ, $^2J_{\text{HH}} = 10,5$ Гц, H-7), 2,18 (м 1H, H-4), 3,83 (м, 1H, H-3), 4,59 (дм, 1H, $^2J_{\text{HF}} = 58,8$ Гц, H-5). ^{19}F ЯМР (CDCl_3) δ : $-192,7$ (д, $^2J_{\text{FH}} = 58,8$ Гц). ^{13}C ЯМР (CDCl_3) δ : 12,5 (с, C-2), 19,3 (д, $^2J_{\text{CF}} = 24,4$ Гц, C-6), 21,7 (д, $^3J_{\text{CF}} = 4,9$, C-1), 26,6 (с, C-7), 40,6 (д, $^2J_{\text{CF}} = 14,4$ Гц, C-4), 71,6 (д, $^3J_{\text{CF}} = 4,2$ Гц, C-3), 93,6 (д, $^1J_{\text{CF}} = 190,8$ Гц, C-5). МС m/z (%): 128 $[\text{M}]^+$ (13), 109 $[\text{M} - \text{F}]^+$ (97), 83 (82) $[\text{M} - \text{C}_2\text{H}_5\text{O}]^+$, 79(100), 66(49) $[\text{C}_5\text{H}_6]^+$. Найдено, %: C 65,55; H 48. $\text{C}_7\text{H}_9\text{FO}$. Вычислено, %: C 65,61; H 7,07.

3-Эндо-гидрокси-5-экзо-фторонортрициклан (7а), белые кристаллы, выход — 18%, Т. пл. — 89-90°C. ¹H ЯМР (CDCl₃) δ: 1,36-1,61 (м, 3H, H-1, H-2, H-6), 1,47 (дм, 1H, АВ), ²J_{HH} = 10,5 Гц, H-7), 1,68 (шир.с. 1H, ОН), 1,88 (дм, 1H, АВ), ²J_{HH} = 10,5 Гц, H-7), 2,02 (шир.с., 1H, H-4), 4,03 (м, 1H, H-3), 5,31 (дм, 1H, ²J_{HF} = 59,4 Гц, H-5). ¹⁹F ЯМР (CDCl₃) δ: -208,0 (²J_{FH} = 59,4 Гц, H-5). ¹³C ЯМР (CDCl₃) δ: 15,2 (с, C-2), 15,5 (д, ²J_{CF} = 22,5 Гц, C-6), 20,4 (д, ³J_{CF} = 6,3 Гц, C-1), 28,0 (с, C-7), 40,1 (д, ²J_{CF} = 16,2 Гц, C-4), 77,2 (д, ³J_{CF} = 5,4 Гц, C-3), 97,4 (д, ¹J_{CF} = 186 Гц, C-5).

3-Экзо-метокси-5-экзо-фторонортрициклан (6б), ¹H ЯМР (CDCl₃) δ: 1,40-1,57 (м, 4H, H-1, H-2, H-6, H-7), 1,74-1,90 (м, 1H, H-7), 2,28 (шир.с., 1H, H-4), 3,23 (с, 3H, OCH₃), 3,35 (м, 1H, H-3), 4,55 (дм, ²J_{HF} = 58,2 Гц, H-5). ¹⁹F ЯМР (CDCl₃) δ: -192,3 (д, CFH, ²J_{FH} = 58,2 Гц).

3-Эндо-метокси-5-экзо-фторонортрициклан (7б). ¹H ЯМР (CDCl₃) δ: 1,40-1,57 (м, 4H, H-1, H-2, H-6, H-7), 1,74-1,90 (м, 1H, H-7), 2,14 (шир.с., 1H, H-4), 3,27 (с, 3H, OCH₃), 3,53 (м, 1H, H-3), 5,15 (дм, ²J_{HF} = 59,7 Гц, H-5). ¹⁹F ЯМР (CDCl₃) δ: -206,3 (д, CFH, ²J_{FH} = 59,7 Гц).

5-Экзо-метокси-7-син-фторонорборн-2-ен (8б), ¹H ЯМР (CDCl₃) δ: 1,40-1,57 (м, 1H, H-6эндо), 1,74-1,90 (м, 1H, H-6экзо), 2,80 (шир.с., 1H, H-1), 2,94 (шир.с., 1H, H-4), 3,32 (м, 2H, H-2, H-3), 3,45 (м, 1H, H-5), 4,50 (дм, 1H, ²J_{HF} = 58,5 Гц, H-7), 5,92 (м, 2H, H-2, H-3). ¹⁹F ЯМР (CDCl₃) δ: -176,5 (д, CFH, ²J_{FH} = 58,5 Гц).

Процедура бромфторирования норборнадиена

К охлажденному до 0°C раствору 3,75 г (0,012 Моль) (n-C₄H₉)₄N⁺H₂F₃⁻ в 20 мл тетрагидрофурана (или

CH₂Cl₂) при перемешивании прибавляли 1,42 г (0,008 Моль) NBS, после полного растворения которого (15 мин) прибавляли по каплям раствор 0,37 г (0,004 Моль) норборнадиена и 3 ч выдерживали реакцию при комнатной температуре при перемешивании. Растворители упаривали, к концентрированному остатку добавляли 20 мл CH₂Cl₂, промывали 5% раствором NaHCO₃ (5×10 мл), затем водой (2×15 мл), сушили над Na₂SO₄ и концентрировали при пониженном давлении. Чистые продукты изолировали методом колоночной хроматографии на силикагеле, элюент гексан : диэтиловый эфир (20 : 1).

3-Экзо-бромо-5-экзо-(4-фторобутокс)нортрициклан (11), безцветное масло, выход — 55%. ¹H ЯМР (CDCl₃) δ: 1,30-2,00 (м, 8H), 2,26 (шс, 1H), 3,39 (т, 2H, ³J_{HH} = 6,2 Гц), 3,48 (м, 1H, HCBF), 3,93 (м, 1H, HCO), 4,44 (дт, 2H, ²J_{FH} = 48,3 Гц, ³J_{HH} = 6,2 Гц). ¹⁹F ЯМР (CDCl₃) δ: -219,5 (тт, ²J_{HF} = 48,5 Гц, ³J_{HF} = 24,3 Гц). ¹³C ЯМР (CDCl₃) δ: 13,1 (с, C-2), 19,3 (с, C-6), 21,9 (с, C-1), 25,8 (д, ³J_{CF} = 5,0 Гц, CH₂), 27,4 (д, ³J_{CF} = 20,1 Гц, CH₂), 27,9 (с, C-7), 40,6 (с, C-4), 53,1 (с, C-3), 68,5 (с, OCH₂), 80,5 (с, C-5), 83,8 (д, ¹J_{CF} = 163,5 Гц, CH₂F).

Выводы

Определены маршруты и продукты трансаннулярной циклизации норборнадиена при действии F-TEDA-BF₄ и бромосукцинимиды в присутствии тетрабутиламмония дигидротрифторида в протонодонорных (вода, этанол) и нуклеофильных (ТГФ, ацетонитрил) растворителях.

Литература

1. Baudy R.B., Sze J.Y., Butera J.A. // *Synthetic Communication*. — 2004. — Vol. 34, №21. — P. 3949-3954.
2. Stack G.P., Dunlop J., Greenfield A.A., Gross J.L. // *US 2003/0022930*, 2003.
3. Fiorino F., Perissutti E., Severini B. et al. // *J. Med. Chem.* — 2005. — Vol. 48. — P. 5495-5503.
4. Ohtani M., Narisada M. // *J. Med. Chem.* — 1990. — Vol. 33. — P. 1027-1031.
5. Mitsumori S., Tsuru T., Honma T. et al. // *J. Med. Chem.* — 2003. — Vol. 46. — P. 2436-2445.
6. Chizhov A.O., Zefirov N.S., Zyk N.V. // *J. Org. Chem.* — 1987. — Vol. 41. — P. 5647-5655.
7. Alvernhe G., Anker D., Laurent A., Haufe G. // *Tetrahedron*. — 1988. — Vol. 44, №12. — P. 3551-3566.
8. Zupan M., Gregorcic A., Pollak A. // *J. Org. Chem.* — 1977. — Vol. 42, №9. — P. 1562-1566.
9. Gregorcic A., Zupan M. // *Tetrahedron*. — 1977. — Vol. 33. — P. 3243-3246.
10. Гриднев И.Д., Баленкова Е.С., Бувевич А.В. // *ЖОрХ*. — 1990. — Т. 26, Вып. 4. — С. 760-770.
11. Evans R.D., Schauble J.H. // *Synthesis*. — 1987. — №6. — P. 551-554.
12. Haufe G., Wolker D. // *Eur. J. Org. Chem.* — 2003. — P. 2159-2165.
13. Serguchev Yu.A., Lourie L.F., Ponomarenko M.V. // *Mendeleev Commun.* — 2002. — P. 23-25.
14. Serguchev Yu.A., Lourie L.F., Ponomarenko M.V. // *Mendeleev Commun.* — 2000. — P. 121-122.
15. Serguchev Yu.A., Ponomarenko M.V., Lourie L.F., Chernega A.N. // *J. Fluorine Chem.* — 2003. — Vol. 123. — P. 207-215.
16. Garrat D.G., Beanlien P.L. // *J. Org. Chem.* — 1979. — Vol. 44, №20. — P. 3555-3559.

Надійшла до редакції 28.02.2010 р.