

В. В. Кузнецов

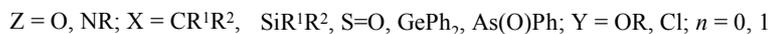
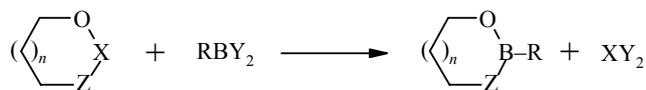
**БОРИЛИРОВАНИЕ НАСЫЩЕННЫХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ
С НЕСКОЛЬКИМИ ГЕТЕРОАТОМАМИ**

(ОБЗОР)

Представлены новые примеры борилирования ряда пяти- и шестичленных насыщенных 1,3- и 1,3,2-гетероциклов с образованием циклических эфиров борных кислот, а также суждения о вероятном механизме рассматриваемого взаимодействия

Ключевые слова: 1,3-диокса-2-гетероциклоалканы, 1,3-диоксациклоалканы, тетрагидро-1,3-оксаины, циклические борные эфиры, борилирование, механизм реакции, квантовая химия.

Одно из перспективных направлений синтеза циклических борных эфиров – важных реагентов органической химии – предполагает взаимодействие ациклических борных субстратов с насыщенными 1,3- либо 1,3,2-гетероциклами.

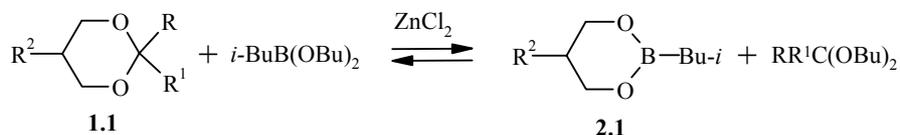


Первые работы в этом направлении, появившиеся во второй половине XX века, носили фрагментарный характер и были посвящены борилированию 1,3-дитиа-2-силациклопентанов [1, 2], бис(1,3-дифенилимидазолидинилидена-2) [3], замещенных 1,3-диоксанов [4–7] и шестичленных кремний-азотсодержащих гетероциклов [8]. Однако в последнее десятилетие удалось обнаружить новые интересные примеры таких реакций и подробно исследовать особенности их протекания, стереохимию, а также получить информацию о вероятном механизме.

1. Борилирование 1,3-диоксанов

Борилирование 1,3-диоксанов **1** эфирами монозамещенных борных кислот приводит к образованию 1,3,2-диоксаборинанов **2** и ациклических ацеталей. В эту реакцию вступают циклические формали, ацетали и кетали [9–12]. Реакция в ряде случаев начинается уже при комнатной температуре после смешения эквимольных количеств исходных реагентов. Нагревание до 130 °С в присутствии каталитических количеств ZnCl₂ либо

BF₃·OEt₂ заметно увеличивает конверсию соединений **1**. Глубина превращения 1,3-диоксанов зависит и от степени замещения ацетального атома углерода (табл. 1).

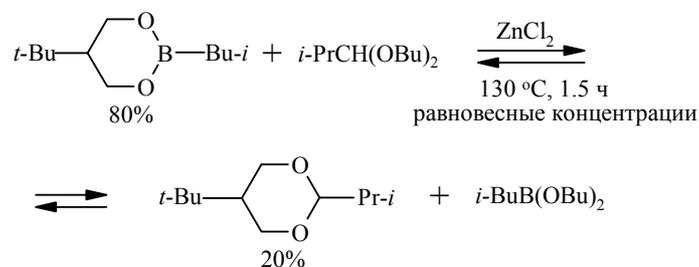


Т а б л и ц а 1

Соотношение 1,3-диоксанов **1.1** и 1,3,2-диоксаборинанов **2.1**, по данным ГЖХ, мол. %, в реакционной смеси

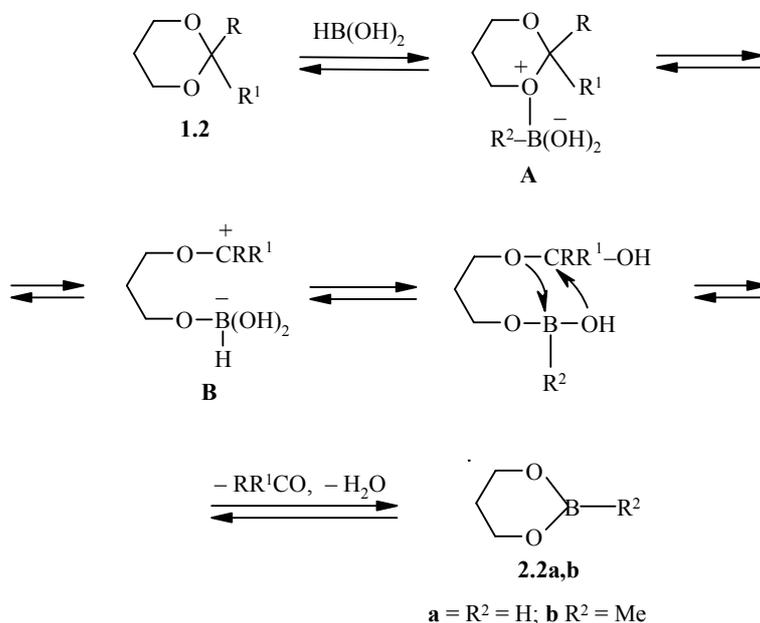
R	R ¹	R ²	Сразу после смешения	Через 2 ч стояния с ZnCl ₂	Нагрев до 130 °С с ZnCl ₂	
					5 мин	30 мин
H	H	<i>i</i> -Bu	100:0	100:0	75:25	60:40
H	H	<i>t</i> -Bu	100:0	100:0	60:40	50:50
H	H	C ₇ H ₁₅	100:0	100:0	100:0	31:69
H	H	C ₉ H ₁₉	100:0	70:30	45:55	7:93
H	H	C ₁₂ H ₂₅	100:0	80:20	20:80	14:86
Pr	H	<i>i</i> -Bu	100:0	65:35	17:83	0:100
<i>i</i> -Bu	H	<i>i</i> -Bu	100:0	60:40	20:80	0:100
Ph	H	<i>i</i> -Bu	0:100	–	–	–
<i>i</i> -Pr	H	Me	100:0	82:18	72:28	45:55
<i>i</i> -Pr	H	<i>i</i> -Pr	100:0	85:15	70:30	42:58
Me	Me	<i>i</i> -Bu	100:0	60:40	0:100	–
Et	Me	<i>i</i> -Bu	82:18	57:43	0:100	–
<i>i</i> -Bu	Me	<i>i</i> -Bu	85:15	55:45	0:100	–
<i>t</i> -Bu	Me	<i>i</i> -Bu	90:10	60:40	10:90	0:100
Ph	Me	<i>i</i> -Bu	0:100	–	–	–
(CH ₂) ₅		<i>i</i> -Bu	31:69	0:100	–	–

Изучение обратной реакции на примере взаимодействия изопропилдибутилацетала с 5-*трет*-бутил-2-изобутил-1,3,2-диоксаборинаном свидетельствует о смещении равновесия в сторону циклического борного эфира [10].



Известно, что в условиях равновесия степень конверсии связана с относительной термодинамической стабильностью исходных и конечных соединений. Оценка последней величины (в виде так называемой энергии напряжения цикла [13, 14]) показала, что 1,3,2-диоксаборинаны более стабильны, чем 1,3-диоксаны [15, 16]. Оценить общую стабильность всех компонентов реакции достаточно сложно из-за неизвестных термодинамических данных для ациклических производных. Тем не менее, можно отметить, что смещение равновесия в сторону 1,3,2-диоксаборинанов обусловлено большей степенью стабилизирующего n - π -электронного взаимодействия по эндоциклической связи В–О по сравнению с ациклическими борными эфирами [7, 16].

Относительная реакционная способность 1,3-диоксанов на кинетической стадии процесса связана со стабильностью интермедиатов. В работе [17] с помощью метода AM1 [18, 19] в рамках программного обеспечения *HyperChem* [20] проведено компьютерное моделирование механизма реакции незамещенного, а также 2- и 2,2-замещенных 1,3-диоксанов с дигидроксидом бора, метилборной кислотой и ее диметилловым эфиром (табл. 2). При этом предполагалось, что рассматриваемое взаимодействие подчиняется основным закономерностям гетеролитических реакций 1,3-диокса-циклоалканов [21] и проходит через стадию координации ацетального кислорода 1,3-диоксана **1.2** по атому бора с образованием комплекса **A**, медленно изомеризующегося в биполярный ион **B**, который, отщепляя молекулу ациклического ацеталя, превращается в конечный 1,3,2-диоксаборинан **2.2**.

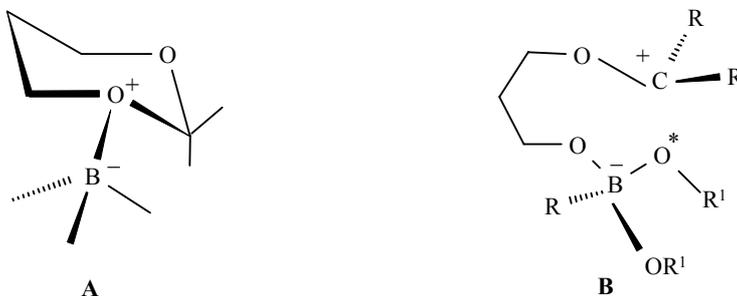


Относительная устойчивость иона **B** (ккал/моль) и соотношение соединений **1.2** и **2.2**, по данным ГЖХ

R	R ¹	E _B -E _A	Соотношение 1.2 и 2.2 , %, в присутствии ZnCl ₂ *	
			Через 2 ч при 20 °С	Через 5 мин при 130 °С
1.2 + HB(OH)₂ → 2.2a				
H	H	7.8	100 : 0	80 : 20
<i>i</i> -Pr	H	4.5	82 : 18	72 : 28
<i>i</i> -Bu	H	3.7	60 : 40	20 : 80
Ph	H	2.6	0 : 100	0 : 100
Me	Me	3.7	60 : 40	0 : 100
Me	Et	2.9	57 : 43	0 : 100
Me	<i>i</i> -Bu	1.3	55 : 45	0 : 100
Me	<i>t</i> -Bu	3.7	60 : 40	10 : 90
(CH ₂) ₅		0.8	0 : 100	0 : 100
Me	Ph	1.1	0 : 100	0 : 100
1.2 + MeB(OH)₂ → 2.2b				
H	H	8.6	100 : 0	80 : 20
<i>i</i> -Pr	H	3.9	60 : 40	20 : 80
Ph	H	0.5	0 : 100	0 : 100
1.2 + MeB(OMe)₂ → 2.2b				
<i>i</i> -Pr	H	9.9	60 : 40	20 : 80
Ph	H	7.4	0 : 100	0 : 100

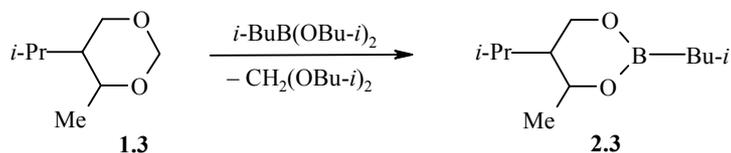
* По данным работ [9–12].

Катализаторы ZnCl₂ либо BF₃·OEt₂, по всей видимости, облегчают образование структур **A** и **B**. Согласно результатам расчета, во всех случаях минимуму энергии для структуры **A** отвечает экваториальный конформер (стабильнее аксиальной формы на 0.4–2.6 ккал/моль), а главному минимуму структуры **B** соответствует форма со сближенными ацетальным и борноэфирным фрагментами.



Расчетная длина координационной связи В–О составляет 1.83–2.00 Å. Согласно данным табл. 2, увеличение степени замещения ацетального атома углерода повышает устойчивость иона **B** по сравнению с оксониевым комплексом **A** (уменьшение разности $E_B - E_A$). Параллельно этому возрастает содержание циклического борного эфира **2** в смеси в кинетически контролируемой области. Наиболее стабильна структура **B** на основе 2-метил-2-фенил-1,3-диоксана ($R = \text{Me}$, $R^1 = \text{Ph}$); по данным эксперимента, реакция в этом случае идет без катализатора [11].

Реакционная способность *цис*- и *транс*-изомеров 2,5-диалкил-1,3-диоксанов по отношению к ациклическим борным эфирам одинакова: их соотношение, установленное ранее в работе [22], не меняется в течение контрольного времени реакции и находится в интервале от 30:70 до 40:60 соответственно [9, 10]. Однако в случае 4,5-диалкил-1,3-диоксанов, стереохимия которых подробно исследована в работе [23], положение меняется: по данным ГЖХ, *цис*-4-метил-5-изопропил-1,3-диоксан реагирует с ациклическим борным субстратом быстрее *транс*-формы (табл. 3) [24].



Т а б л и ц а 3

Изменение стереоизомерного состава исходных и конечных соединений **1.3 и **2.3** в ходе реакции 5-изопропил-4-метил-1,3-диоксана с эфиром изобутилборной кислоты**

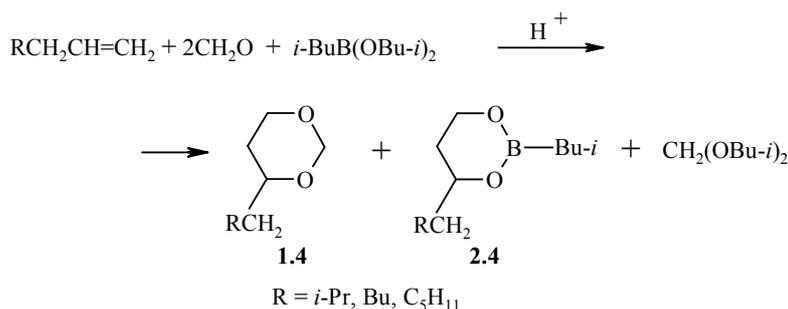
<i>цис:транс-1.3</i>	Положение на координате реакции	<i>цис:транс-2.3</i>	1.3 : 2.3, %
60:40	До начала реакции	–	100:0
45:55	Через 24 ч без катализатора	67:33	85:15
37:63	Через 30 мин нагрева с ZnCl ₂ *	65:35	12:88
47:53	Через 30 мин нагрева с BF ₃ ·OEt ₂ *	63:37	14:86
39:61	До начала реакции	–	100:0
11:89	Через 24 ч без катализатора	47:53	71:29
9:91	Через 30 мин нагрева с ZnCl ₂ *	55:45	11:89
11:89	Через 30 мин нагрева с BF ₃ ·OEt ₂ *	37:63	9:91

* Контрольные эксперименты доказали невозможность конфигурационной изомеризации соединений **1.3** и **2.3** под действием катализаторов [24].

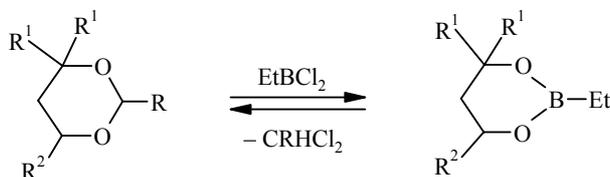
Изучение превращения двух образцов исходного 1,3-диоксана различного конфигурационного состава [23, 25] показало, что в обоих случаях *цис*-изомер циклического формала реагирует быстрее, нежели *транс*-изомер; при этом борилирование проходит строго стереоспецифично: *цис*-изомер 1,3-диоксана превращается только в *цис*-форму 1,3,2-диоксaborинана, а из *транс*-изомера образуется исключительно *транс*-форма

циклического борного эфира (стереохимия 2-изобутил-5-изопропил-4-метил-1,3,2-диоксаборинана подробно изучена в работе [26]). Компьютерное моделирование обсуждаемого превращения показало, что повышенная реакционная способность *цис*-изомера 1,3-диоксана обусловлена более низкой энергией активации этого процесса [24].

Взаимодействие ряда олефинов с параформальдегидом и диизобутиловым эфиром изобутилборной кислоты в условиях конденсации Принса (катализатор – конц. H₂SO₄) приводит к 2,4-диалкил-1,3,2-диоксаборинану **2.4**, ациклическому формальду и 4-алкил-1,3-диоксану **1.4** в сравнимых с эфиром **2.4** количествах [27].



Боририрование 1,3-диоксанов алкилдиборанами также приводит к соответствующим 1,3,2-диоксаборинанам [28]; при этом реакция идет при комнатной температуре и без катализаторов.



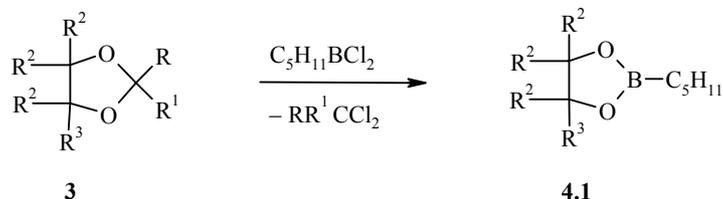
Как и в предыдущем случае, скорость боририрования *цис*-изомера стереоизомерного 5-изопропил-4-метил-1,3-диоксана заметно выше, чем *транс*-формы [29].



В то же время обсуждаемая реакция является стереоспецифичной.

2. Борилирование 1,3-диоксоланов

Взаимодействие амилдихлорборана с 1,3-диоксоланами **3** приводит к соответствующим 1,3,2-диоксабороланам **4.1** (табл. 4) [30].



Т а б л и ц а 4

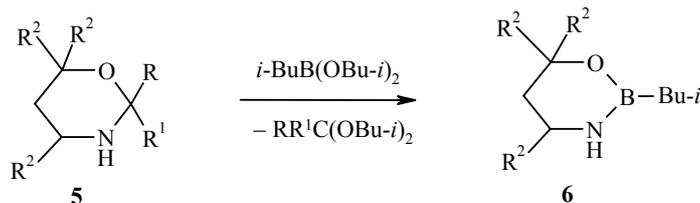
Соотношение 1,3-диоксоланов **3** и 1,3,2-диоксабороланов **4.1**, по данным ГЖХ, через 6 ч после начала реакции

R	R ¹	R ²	R ³	3 : 4.1 , мол. %
H	H	H	H	0 : 100
<i>i</i> -Pr	H	H	H	79 : 21
C ₇ H ₁₅	H	H	H	43 : 57
H	H	Me	Me	70 : 30
Me	Me	H	Me	44 : 56
=O		H	Me	>98 : <2

Полученные данные свидетельствуют о существенной зависимости степени конверсии 1,3-диоксоланов от характера и расположения заместителей. Можно предположить, что наблюдаемая зависимость, как и в случае 1,3-диоксанов, связана с относительной стабильностью соответствующих интермедиатов.

3. Борилирование тетрагидро-1,3-оксазинов

Борилирование тетрагидро-1,3-оксазинов **5** диизобутиловым эфиром изобутилборной кислоты медленно идет при нагревании смеси исходных соединений до 100–150 °С, а для отдельных веществ и при комнатной температуре в присутствии каталитических количеств ZnCl₂. Кетали – как и в случае 1,3-диоксанов – характеризуются более высокой скоростью превращения и степенью конверсии, чем ацетали (табл. 5). Увеличение числа заместителей в алифатической части кольца практически не влияет на степень конверсии оксазинов; в то же время присутствие вторичного радикала у ацетального атома углерода заметно снижает равновесную концентрацию соответствующих 1,3,2-оксазаборинанов **6** [31].



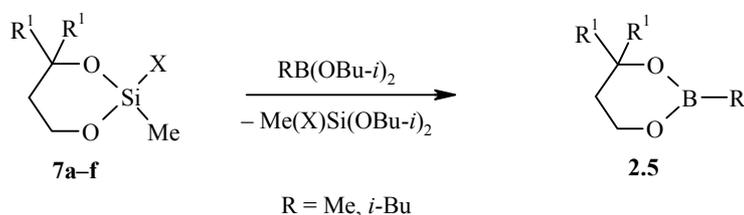
Т а б л и ц а 5

Соотношение тетрагидро-1,3-оксазинов **5** и 1,3,2-оксаборинанов **6**, по данным ГЖХ, через 6 ч после начала реакции

R	R ¹	R ²	5 : 6 , мол. %
<i>i</i> -Pr	H	H	66 : 34
Me	Me	H	5 : 95
Et	H	Me	14 : 86
Pr	H	Me	12 : 88
<i>i</i> -Pr	H	Me	63 : 37
Me	Me	Me	0 : 100

4. Борилирование 1,3-диокса-2-силациклогексанов

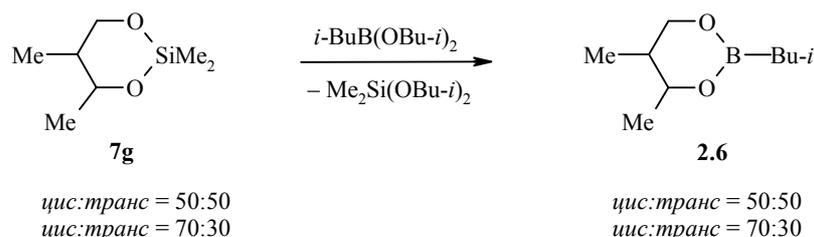
Борилирование 1,3-диокса-2-силациклогексанов **7** эквимольным количеством эфиров алкилборных кислот также приводит к 1,3,2-диоксаборинанам. При этом степень конверсии циклических кремниевых эфиров зависит от характера заместителя X [32].



7 a X = Me, R¹ = H; **b** X = R¹ = Me; **c** X = Ph, R¹ = Me; **d** X = OAc, R¹ = Me;
e X = NEt₂, R¹ = H; **f** X = NEt₂, R¹ = Me

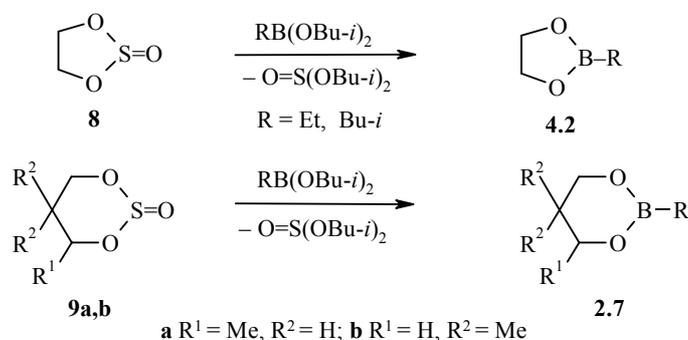
Реакция алкилзамещенных производных **7a,b** проходит практически мгновенно, а для эфира **7c** характерна более низкая скорость взаимодействия: равновесное соотношение этого соединения и соответствующего 1,3,2-диоксаборинана **2.5** без катализатора составляло 65:35. Лишь нагревание до 100 °С в присутствии ZnCl₂ в течение 5 мин практически полностью смещало равновесие в сторону циклического борного эфира. В целом обсуждаемая реакция характеризуется большей равновесной концентрацией целевых соединений – замещенных 1,3,2-диоксаборинанов – по сравнению с силилированием 1,3-диоксанов диметилдиметоксисилоном [33, 34].

Изучение стереохимии борилирования циклических кремниевых эфиров на примере соединения **7g** (смесь стереоизомеров различного состава [35]) показало, что исследуемое взаимодействие проходит стереоспецифично [36, 37]: в пределах ошибки ГЖХ ($\pm 3\%$) соотношение *цис*- и *транс*-изомеров **7g** соответствует таковому для ожидаемого 2-изобутил-4,5-диметил-1,3,2-диоксаборинана. Максимальная степень конверсии в присутствии каталитических количеств эфирата трехфтористого бора составила в этом случае 95%.

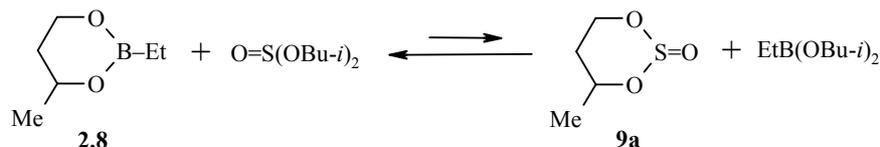


5. Борилирование циклических сульфитов

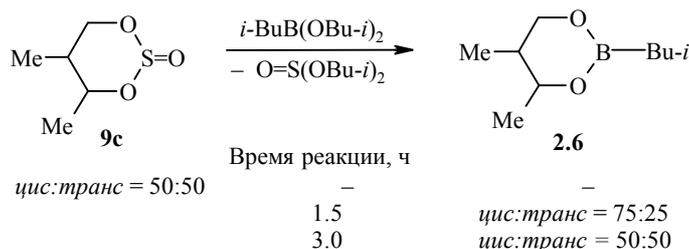
Взаимодействие 1,3,2-диоксатиолан-2-оксида (**8**) и 1,3,2-диоксатиан-2-оксидов **9a,b** с эфирами алкилборных кислот приводит к соответствующим 1,3,2-диоксабороланам **4.2** и 1,3,2-диоксаборинанам **2.7**.



При комнатной температуре реакция практически не идет, однако при нагревании до 140 °С постоянное соотношение концентраций соединений **8** и **4.2** устанавливается через 75–80 мин, а для соединений **9a,b** и **2.7** – за 40–60 мин. Обсуждаемое превращение не требует катализаторов, а степень конверсии циклических сульфитов во всех случаях составляет 90–95% [38, 39]. Изучение обратной реакции на примере диизобутилсульфита и 4-метил-2-этил-1,3,2-диоксаборинана показало, что равновесие почти нацело смещено в сторону образования циклических борных эфиров: степень конверсии в сульфит **9a** не превышает 6%.

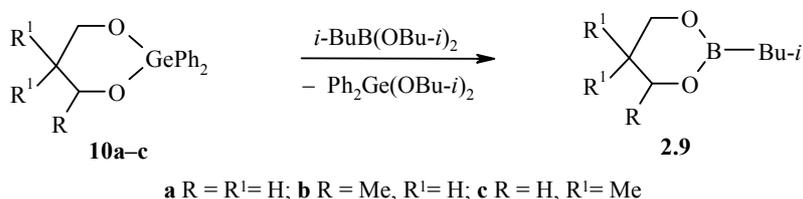


Исследуемая реакция стереоспецифична: борилирование сульфита **9c** (в виде смеси стереоизомеров, данные по конфигурационному отношению представлены в работе [40]) приводит к соответствующему соединению **2.6** аналогичного стереоизомерного состава, хотя в процессе реакции *цис*-**9c** реагирует быстрее, чем *транс*-**9c** [41].

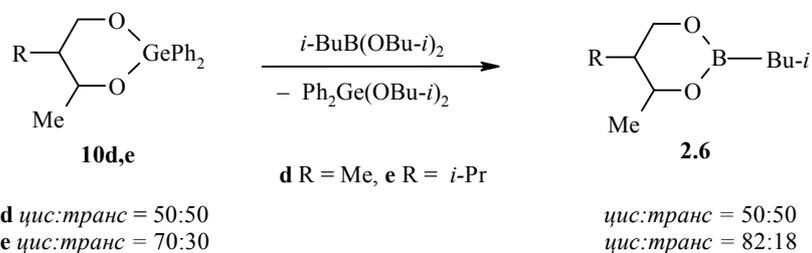


6. Борилирование 1,3-диокса-2-гермациклогексанов

Взаимодействие 2,2-дифенил-1,3-диокса-2-гермациклогексанов **10a-c** с эфиром изобутилборной кислоты не требует присутствия катализатора и приводит к соответствующим 1,3,2-диоксаборинам [42].



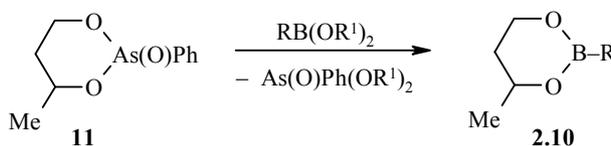
Однако выход эфиров **2.9**, выделенных фракционной перегонкой в вакууме, составил от 29 до 32%. Данная реакция, как и процессы, рассмотренные выше, стереоспецифична [37, 43]: стереоизомерный состав эфиров **10d,e** примерно соответствует таковому для продуктов борилирования – 2,4,5-замещенных 1,3,2-диоксаборинов [44–49].



Степень конверсии соединений **10d,e** не превышает 30%.

7. Борилирование 2-арсенациклогексанов

Взаимодействие циклического эфира фениларсоновой кислоты (**11**) с ациклическими производными борных кислот также приводит к соответствующим 1,3,2-диоксаборинам [50]. Циклические эфиры **2.10** выделены с выходом 15–41%.



Таким образом, борилирование шестичленных гетероциклов, содержащих гетероатомы V периода (Ge, As), характеризуется относительно низкой конверсией в 1,3,2-диоксаборинаны.

Исследованные реакции борилирования дополняют известные химические превращения насыщенных гетероциклов различных классов [7, 21, 33, 51–56] и свидетельствуют о заметном влиянии гетероатома во втором положении кольца на степень превращения в циклические борные эфиры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. W. Abel, D. A. Armitage, R. P. Bush, *J. Chem. Soc.*, 3045 (1965).
2. E. W. Abel, D. A. Armitage, R. P. Bush, *J. Chem. Soc.*, 7098 (1965).
3. G. Hease, A. Naag, *Tetrahedron Lett.*, 1123 (1965).
4. А. Б. Девекки, Г. С. Идлис, С. К. Огородников, *ЖОрХ*, **17**, 2238 (1981).
5. В. В. Кузнецов, *Синтез и изучение стереохимии замещенных 1,3,2-диоксаборинанов*, Автореф. дис. канд. хим. наук, Одесса, 1983.
6. В. В. Кузнецов, А. И. Грень, *ДАН УССР, Сер. Б*, 33 (1983).
7. А. И. Грень, В. В. Кузнецов, *Химия циклических эфиров борных кислот*, Наукова думка, Киев, 1988.
8. М. Ю. Сватиков, Е. А. Грузинова, Г. В. Котрелев, *Изв. АН СССР, Сер. хим.*, 1683 (1991).
9. В. В. Кузнецов, А. В. Терещенко, А. И. Грень, в кн.: *Тез. докл. Всесоюз. совещания Кислородсодержащие гетероциклы*, Краснодар, 1990, с. 180.
10. В. В. Кузнецов, А. В. Терещенко, А. И. Грень, *ЖОХ*, **62**, 1107 (1992).
11. В. В. Кузнецов, А. В. Терещенко, А. И. Грень, *ХГС*, 160 (1995).
12. В. В. Кузнецов, А. В. Терещенко, А. И. Грень, *ЖОХ*, **66**, 270 (1996).
13. B. Nelander, S. Sunner, *J. Chem. Phys.*, **44**, 2476 (1966).
14. J. Gasteiger, O. Dammer, *Tetrahedron*, **34**, 2939 (1978).
15. A. Finch, P. J. Gardner, P. J. Pearn, *Trans. Faraday Soc.*, **62**, 1072 (1966).
16. A. Finch, P. J. Gardner, P. M. McNamara, G. R. Wellum, *J. Chem. Soc., A*, 3339 (1970).
17. В. В. Кузнецов, *ТЭХ*, **36**, 218 (2000).
18. M. J. S. Dewar, E. G. Zoebisch, E. F. Healy, S. P. Stewart, *J. Am. Chem. Soc.*, **107**, 3902 (1985).
19. M. J. S. Dewar, C. Jie, E. G. Zoebisch, *Organometallics*, **7**, 513 (1988).
20. HyperChem 5.02. Trial version. <http://www.hyper.com>.
21. Д. Л. Рахманкулов, Р. А. Караханов, С. С. Злотский, А. М. Сыркин, Е. А. Кантор,

- У. Б. Имашев, *Итоги науки и техники. Технология органических веществ*, **5**, *Химия и технология 1,3-диоксациклоалканов*, ВИНТИ, Москва, 1979.
22. А. В. Богатский, Ю. Ю. Самитов, З. Д. Богатская, *ЖОрХ*, **5**, 2230 (1969).
 23. А. В. Богатский, Ю. Ю. Самитов, А. И. Грень, *ХГС*, 893 (1971).
 24. В. В. Кузнецов, *ХГС*, 1149 (2002).
 25. А. В. Богатский, Н. Г. Лукьяненко, Л. Н. Лямцева, *ЖОрХ*, **17**, 1202 (1981).
 26. В. В. Кузнецов, *ХГС*, 1453 (2002).
 27. В. В. Кузнецов, Е. А. Алексеева, А. И. Грень, *ЖОХ*, **64**, 1752 (1994).
 28. В. В. Кузнецов, А. И. Грень, *ЖОХ*, **55**, 1651 (1985).
 29. В. В. Кузнецов, А. И. Грень, *ЖОрХ*, **22**, 2237 (1986).
 30. В. В. Кузнецов, В. А. Букин, А. И. Грень, *Изв. Вузов. Химия и хим. технология*, **33**, 34 (1990).
 31. А. Р. Калюский, В. В. Кузнецов, А. И. Грень, *ХГС*, 712 (1987).
 32. В. В. Кузнецов, А. И. Грень, В. И. Ларионов, Р. С. Мусавиров, *Укр. хим. журн.*, **57**, 868 (1991).
 33. Р. С. Мусавиров, И. А. Чушкина, Е. П. Недогрей, В. И. Ларионов, в кн. *Новые реактивы на основе ацеталей, ортоэфиров, их аналогов и производных*, ИРЕА, Москва, 1986, с. 171.
 34. В. И. Ларионов, Р. С. Мусавиров, Е. А. Кантор, С. С. Злотский, Д. Л. Рахманкулов, Р. А. Караханов, *ДАН*, **255**, 597 (1980).
 35. В. В. Кузнецов, А. И. Грень, *ЖОХ*, **65**, 850 (1995).
 36. В. В. Кузнецов, *ЖОрХ*, **33**, 1757 (1997).
 37. В. В. Кузнецов, А. И. Грень, В. И. Ларионов, Р. С. Мусавиров, в кн.: *Тез. докл. V Всесоюз. конф. по металлоорганической химии*, Рига, 1991, с. 112.
 38. В. В. Кузнецов, *ЖОрХ*, **31**, 146 (1995).
 39. В. В. Кузнецов, в кн.: *Тез. докл. XVI Укр. конф. по органической химии*, Тернополь, 1992, с. 346.
 40. T. Virtanen, N. Nikander, K. Pihlaja, E. Rahkamaa, *Tetrahedron*, **38**, 2821 (1982).
 41. В. В. Кузнецов, *ЖОрХ*, **36**, 314 (2000).
 42. В. В. Кузнецов, А. И. Грень, *ЖОХ*, **62**, 712 (1992).
 43. В. В. Кузнецов, *ЖОХ*, **69**, 1925 (1999).
 44. В. В. Кузнецов, Е. А. Алексеева, *ЖОХ*, (2002).
 45. В. В. Кузнецов, А. И. Грень, *ЖОХ*, **54**, 2263 (1984).
 46. В. В. Кузнецов, Е. А. Алексеева, А. И. Грень, *ХГС*, 1291 (1995).
 47. В. В. Кузнецов, Л. В. Спирихин, *ХГС*, 400 (1998).
 48. В. В. Кузнецов, С. А. Бочкор, Л. В. Спирихин, *Башкир. хим. журн.*, **7**, 23 (2000).
 49. В. В. Кузнецов, *ЖОХ*, **70**, 71 (2000).
 50. В. В. Кузнецов, А. В. Мазепа, Ю. Э. Брусилковский, *ЖОХ*, **70**, 868 (2000).
 51. В. В. Кузнецов, в кн. *Новые направления в химии циклических ацеталей*, Реактив, Уфа, Nova Science Publishers, Inc. (USA), 2002, с. 132.
 52. В. В. Кузнецов, *Синтез, конформационный анализ и химические превращения циклических борных эфиров диолов и аминокспиртов*, Дис. докт. хим. наук, Уфа, 2002.
 53. О. А. Ерастов, Г. Н. Никонов, *Функционально замещенные фосфины и их производные*, М., Наука, 1986.
 54. R. Köster, *Pure & Appl. Chem.*, **49**, 765 (1977).
 55. В. В. Кузнецов, А. Р. Калюский, А. И. Грень, *ЖОрХ*, **31**, 1667 (1995).
 56. В. В. Кузнецов, В. Н. Швец, *ЖОрХ*, **33**, 1577 (1997).

Уфимский государственный нефтяной
технический университет,
Уфа 450062
e-mail: kuzmaggy@mail.ru

Поступило в редакцию 28.02.2005
После переработки 30.11.2005