

*Посвящается нашему Учителю
академику РАН М. Г. Воронкову
в связи с его 85-летием*

**М. М. Демина, П. С. Новопашин, Т. В. Конькова, Г. И. Сарапулова,
А. В. Афонин, А. С. Медведева**

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТСОДЕРЖАЩИХ ПРОПИНАЛЕЙ С S-, N-БИНУКЛЕОФИЛАМИ

Реакции α -кремний-, германийсодержащих ацетиленовых альдегидов с 2-аминоэтан-тиолом, этилендиамином и 2-амино-1,2,4-триазолом протекают хемоселективно по альдегидной группе. Соотношение таутомеров – азометина и 1,3-тиазолидина – при взаимодействии с 2-аминоэтан-тиолом существенно зависит от природы гетероатома при тройной связи альдегида, наличия катализатора и применения микроволновой активации.

Ключевые слова: бисгетеронуклеофилы, N¹,N²-бис(3-триорганил-2-пропинилден)-1,2-этан-диамины, α -кремний(германий)содержащие пропинали, 5-(3-триорганил-2-пропинилден)амино-1Н-1,2,4-триазолы, 2-[3-триорганосилил(гермил)-2-пропинил]-1,3-тиазолидины, элементсодержащие 1,3-азаенины, микроволновая активация.

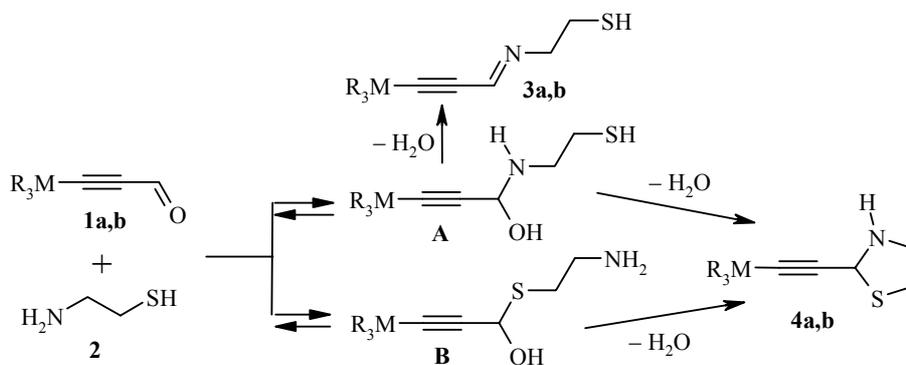
Ранее нами было показано, что реакции пропиналей $R_3MC\equiv CCHO$ (M = Si, Ge, C) с первичными аминами в отсутствие катализаторов протекают хемоселективно по альдегидной группе с образованием соответствующих азометинов [1]. Направление взаимодействия с тиолами зависит от природы гетероатома. При взаимодействии триметилсилилпропиналя и тиолов в отсутствие растворителя и катализатора при комнатной температуре в зависимости от соотношения реагентов выделены относительно стабильные ацетиленовые гемитиали или тиоацетали с количественным выходом. В случае триэтилгермилпропиналя в сравнимых условиях (20 °С, альдегид–тиол, 1:2) образуются предпочтительно аддукты по тройной связи – соответствующие β -тиопропенали [2]. Недавно нами было неожиданно обнаружено, что при взаимодействии триметилсилилпропиналя с нуклеофилами в присутствии катализаторов могут протекать каскадные реакции гетероциклизации. Так, под действием *n*-толуолсульфокислоты триметилсилилпропиналь реагирует с 2-аминопиридином при микроволновой (МВ) активации с образованием N-(2'-пиридил)-2-(триметилсилилэтинил)-1,2-дигидропиридин-3,5-дикарбальдегида [3], а в условиях основного катализа (DABCO) претерпевает тримеризацию в 4-(триметилсилилэтинил)-4Н-пиран-3,5-дикарбальдегид [4].

Взаимодействие элементсодержащих пропиналей с бисгетеро-

нуклеофилами до сих пор не исследовалось. Целью данной работы являются изучение реакции триметилсилил- и триэтилгермилпропиналей **1a,b** с некоторыми N,N- и N,S-бинуклеофилами, а именно – 2-аминоэтантиолом, этилендиамином, 3-амино-1,2,4-триазолом, и поиск условий селективного протекания реакций. Наличие в молекуле 2-аминоэтантиола двух нуклеофильных центров *a priori* позволяет предполагать возможность образования азометинов и/или соответствующих 1,3-тиазолидинов, а также аддуктов по тройной связи с участием SH-кислотного центра в случае пропиналя **1b**. Наличие кремний- или германий-содержащих групп стабилизирует аддукты по карбонильному центру, а последующий гетеролиз связи M–C_{sp} позволяет получать аналоги с терминальной тройной связью. Введение тройной связи и гетероатома кремния или германия позволяет также обогатить синтетический и биологический потенциал аддуктов.

Химия 1,3-тиазолидинов вызывает в последние годы возрастающий интерес в основном благодаря наличию этого структурного фрагмента в природных антибиотиках [5–8]. 2-Алкилзамещенные тиазолидины обладают радиопротекторной, антимуtagenной и гепатопротекторной активностью [9–12]. Большинство известных 2-замещенных тиазолидинов получены конденсацией 2-аминоэтантиолов с ароматическими альдегидами или альдозами [13, 14]. Изучение кольчато-цепного равновесия показало, что соотношение таутомеров существенно зависит от природы растворителя, соотношения реагентов и pH среды [15, 16].

На примере реакции пропиналей **1a,b** с 2-аминоэтантиолом **2** показана хемоселективность процесса с участием альдегидного центра с образованием соответствующих азометинов **3a,b** или продуктов их циклизации – 2-[3-триметилсилил(гермил)-2-пропинил]-1,3-тиазолидинов **4a,b**.



1, 3, 4 a R₃M = Me₃Si, **b** R₃M = Et₃Ge

Отмечено значительное влияние условий реакции на селективность взаимодействия и соотношение открыто-цепной и циклической форм. Установлено, что в растворе дихлорметана при комнатной температуре в течение 16 ч реакция пропиналей **1a,b** с эквимолярным количеством 2-аминоэтантиола протекает селективно с образованием 2-[3-триорганосилил(гермил)-2-пропинил]-1,3-тиазолидинов **4a,b** с выходом 85–87%.

Выделенные 1,3-тиазолидины **4a,b** представляют собой масла, разлагающиеся при перегонке в вакууме. ИК спектры характеризуются полосами поглощения валентных колебаний тройной связи при 2170–2180, связи N–H в области 3240–3250 и связи Si–CH₃ при 1250 см⁻¹. В спектрах ЯМР ¹H (CDCl₃) соединений **4a,b** присутствуют сигналы метинового протона в положении 2 тиазолидинового кольца при 4.51 (**4a**) и 5.02 (**4b**), метиленовых протонов в области 3.05–3.50, N–H протона при 1.95–1.97 и протонов триметилсилильной с δ 0.15, триэтилгермилльной с δ 0.8–1.1 м. д. групп. Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃) азометина **3a** характеризуется наличием сигналов триметилсилильной группы с δ 0.62, S–H протона с δ 2.06, метиленовых протонов в области 2.85–3.70 и протона CH=N с δ 7.5 м. д.

Известно, что молекулярные сита используются в качестве дегидратирующих агентов в реакциях карбонильных соединений с первичными аминами [17]. Нами показано, что применение молекулярных сит 4 Å приводит к неселективному протеканию процесса с образованием смеси изомеров **3a,b** и **4a,b** (табл. 1).

Недавно нами разработаны высокоэффективные методы твердофазного прямого превращения кремний(германий)ацетиленовых спиртов в соответствующие азометины окислением активированным диоксидом марганца в присутствии первичных аминов при МВ облучении [18, 19]. Известно, что МВ облучение может приводить к значительному сокращению времени реакции, увеличению конверсии, а иногда и селективности процесса [20–23]. Нами изучено влияние МВ облучения на эффективность и селективность реакции пропиналей **1a,b** с 2-аминоэтантолом в присутствии молекулярных сит 4 Å и в их отсутствие без растворителя (ампула, немодифицированная МВ печь). Согласно данным табл. 1, использование МВ облучения позволяет значительно ускорить образование 1,3-тиазолидинов **4a,b**.

Если в случае пропиналя **1a** содержание тиазолидина **4a** составляет 80% (без растворителя, 25 °С, 16 ч, ЯМР ¹H), то при МВ облучении в течение 12 мин (мощность 420 Вт) наблюдается селективное образование 1,3-тиазолидина. Аналогичный результат получен и для гермилльного аналога **1b**. Контроль за ходом реакции осуществлялся методами ТСХ и спектроскопии ЯМР ¹H.

Отметим, что во всех условиях реакции, по данным ЯМР ¹H, наблюдается 100% конверсия пропиналей **1a,b**. Изучение динамики реакции альдегида **1a** при МВ облучении методом ЯМР ¹H отчетливо показывает наличие кольчато-цепной таутомерии между **3a** и **4a**. Преобладание азометина **3a** в реакционной смеси в присутствии молекулярных сит можно объяснить действием цеолитов как кислот Льюиса, стабилизирующих иммониевый катион азометина Me₃SiC≡CCH=N⁺(H)CH₂CH₂SH [24].

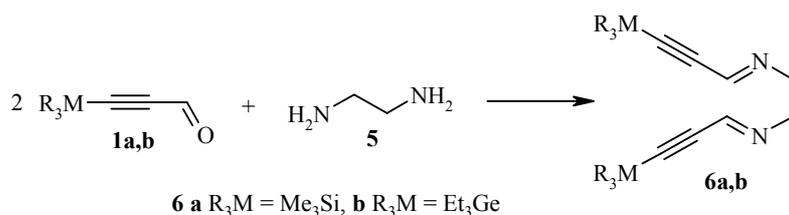
**Влияние условий реакции на соотношение таутомеров
азометин 3a,b/тиазолидин 4a,b**

Опыт	Условия реакции*	Время	Соотношение	
			3a-4a	3b-4b
1**	Т. комн.	16 ч	1 : 4	0 : 1
2	Т. комн.	16 ч	2 : 1	
3	МВ (140 Вт)	3 мин	1 : 1.3	
4	МВ (140 Вт)	6 мин	1 : 1.8	
5	МВ (140 Вт)	10 мин	1.5 : 1	
6	МВ (280 Вт)	3 мин	1 : 1	
7	МВ (280 Вт)	6 мин	1.5 : 1	
8	МВ (280 Вт)	10 мин	1.5 : 1	
9	МВ (420 Вт)	12 мин	0 : 1	0 : 1

* Дегидратирующий агент – молекулярные сита 4 Å (опыты 2–8).

** В CH₂Cl₂; опыты 2–9 проводили без растворителя.

Реакция пропиналей **1a,b** с этилендиамином (**5**) в среде хлористого метилена в течение 1 ч при температуре от –15 до –20 °С и затем 1 ч при комнатной температуре протекает хемоселективно по альдегидному центру пропиналей с участием обеих аминогрупп бинуклеофила. Несмотря на эквимольное соотношение реагентов с выходом 80 и 43%, соответственно, выделены бис(азометины) **6a,b**, которые могут представлять интерес как полидентатные лиганды в направленном синтезе моно-, ди- и полиядерных комплексов [25, 26].



ИК спектры соединений **6a,b** характеризуются наличием полос поглощения валентных колебаний тройной связи (2170–2180), связей C=N (1595–1610) и Si–CH₃ в области 1240 см⁻¹. В спектрах ЯМР ¹H (CDCl₃) соединений **6a,b** в области сигналов метиленовых групп наблюдаются два синглета с δ 3.79 и 3.95 м. д., принадлежащие *цис,цис*- и *транс,транс*-изомерам. Кроме того, имеются два мультиплета при 3.81 и 3.91 м. д., отвечающие двум неэквивалентным метиленовым группам в *цис,транс*-изомере. В области резонанса азометиновых групп проявляются три сигнала

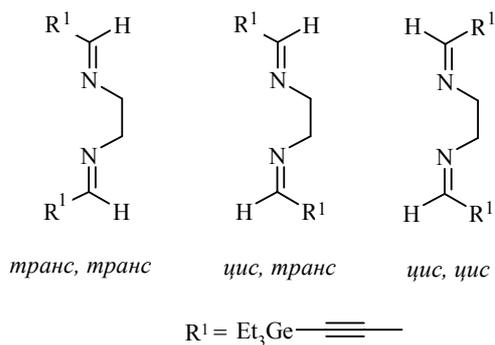
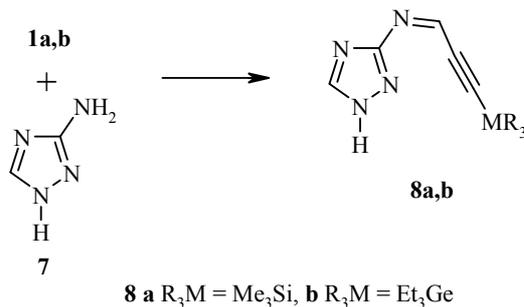


Рис. 1. Изомеры бис(азометинов) **6a,b**

при 7.52, 7.56 и 7.59 м. д., причем первый из них имеет удвоенную интенсивность. В спектре ЯМР ^{13}C обнаружены четыре сигнала как в области метиленовых (55.85–62.22), так и в области азометиновых групп (144.47–147.09 м. д.), отвечающие указанным трем изомерам (рис. 1). Элементный анализ подтверждает состав азометинов **6a,b**.

Взаимодействие соединений **1a,b** и 3-амино-1,2,4-триазола **7** осуществлялось в среде ТГФ или ацетонитрила при комнатной температуре в течение 3 ч с образованием неизвестных ранее альдиминов **8a** (выход 88%) и **8b** (выход 62%). Выделенные соединения представляют собой бесцветные кристаллы, трудно растворимые в большинстве органических растворителей.



Строение альдиминов **8a,b** доказано методами ИК и ЯМР спектроскопии (**8b**), состав подтвержден элементарным анализом. ИК спектр содержит полосы поглощения валентных колебаний тройной связи (2170–2180), связи C=N азометиновой группы и кольца (1595, 1550 сл., 1470), N–H (3240–3250), Si–CH₃ (1240 cm^{-1}). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$) соединения **8b** характеризуется сигналами группы Et_3Ge с δ 0.92–1.09, азометиновых протонов CH=N при 6.07 и 6.48, CH=N кольца при 7.78 и 8.34, протонов группы N–H с δ 14.12 м. д. Для азометина **8a** качественные спектры ЯМР не были получены из-за плохой растворимости в большинстве органических растворителей и D_2O .

В спектре ЯМР ^{13}C соединения **8b** резонансы всех углеродов утроены, что, по-видимому, обусловлено существованием в растворе данного соединения в виде трех таутомеров (рис. 2).

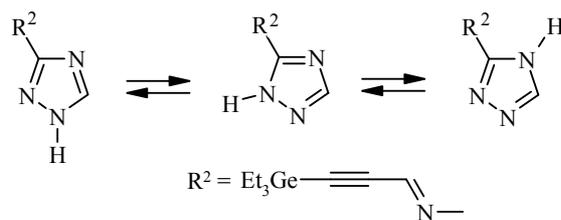


Рис. 2. Возможные таутомеры альдимины **8b**

Таким образом, реакции элементсодержащих пропиналей с изученными бис(гетеронуклеофилами), имеющими первичную аминогруппу, протекают хемоселективно по альдегидной группе, в случае этилендиамина – с участием обеих аминогрупп с образованием бис(азометинов) независимо от соотношения реагентов. В случае 2-аминоэтантиола в отсутствие катализатора образуются селективно или предпочтительно 2-[3-триорганосилил(гермил)-2-пропинил]-1,3-тиазолидины с высоким выходом. Использование МВ активации приводит к существенному сокращению времени реакции и селективному образованию циклического аддукта. В присутствии молекулярных сит 4 \AA образуется смесь азометина и тиазолидина независимо от условий реакции.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры записывали на спектрометре Specord IR-75 в таблетках KBr и в микрослое. Спектры ЯМР ^1H , ^{13}C , ^{29}Si регистрировали на приборе Bruker DPX-400 (400, 100 и 80 МГц соответственно) в CDCl_3 , внутренний стандарт ГМДС (δ 0.05 м. д.). Для МВ активации использовали немодифицированную микроволновую печь марки LG, мощность 700 Вт, частота 2450 МГц. Контроль за ходом реакции осуществляли с помощью метода ТСХ на пластинах Silufol UV-254, элюент хлороформ–ацетонитрил, проявление парами иода в камере. 3-Триметилсилил-2-пропин-1-аль (**1a**) получали окислением 3-триметилсилил-2-пропин-1-ола нейтральным диоксидом марганца γ -модификации по методу [27], 3-триэтилгермил-2-пропин-1-аль – по методу [28].

2-(3-Триметилсилил-2-пропинил)-1,3-тиазолидин (4a). А. К раствору 1.26 г (10 ммоль) пропиналя **1a** в 10 мл абсолютного хлористого метилена прибавляют по каплям раствор 0.77 г (10 ммоль) 2-аминоэтантиола **2** в 20 мл растворителя. Реакционную смесь перемешивают при температуре от -15 до -20 °С в течение 1 ч и оставляют на ночь при комнатной температуре, сушат над MgSO_4 . Остаток после удаления растворителя в вакууме хроматографируют на колонке с Al_2O_3 (элюент хлороформ–гексан, 3:1). Получают 1.6 г (87%) тиазолидина **4a** в виде розового масла. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3350 (N–H), 2170 ($\text{C}\equiv\text{C}$), 1250, 850 (Me_3Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.15 (9H, с, $(\text{CH}_3)_3\text{Si}$); 1.95 (1H, уш. с, N–H); 3.05 (2H, м, $\text{CH}_2\text{--S}$); 3.05–3.50 (2H, м, $\text{CH}_2\text{--N}$); 4.51 (1H, с, CH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: -0.60 ($(\text{CH}_3)_3\text{Si}$); 36.14 ($\text{CH}_2\text{--S}$); 52.58 ($\text{CH}_2\text{--N}$); 58.31 (CH); 90.40 ($\equiv\text{CSi}$); 102.94 ($\text{C}\equiv$). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: -17.29 . Найдено, %: C 51.52; H 8.25; N 7.70; S 17.33; Si 14.80. $\text{C}_8\text{H}_{15}\text{NSSi}$. Вычислено, %: C 51.84; H 8.16; N 7.55; S 17.20; Si 15.15.

Б. Смесь 0.13 г (1 ммоль) альдегида **1a** и 0.08 г (1 ммоль) 2-аминоэтантиола запаивают в ампулу объемом 10 мл, помещают в тefлоновый контейнер с завинчивающейся крышкой (объем раствора не должен превышать 10% объема ампулы!). Реакционную смесь облучают в микроволновой печи в течение 12 мин при мощности 420 Вт (60% мощности печи), экспозициями по 2 мин с последующим охлаждением до комнатной температуры. После охлаждения ампулу вскрывают, остаток вакуумируют. Получают 0.18 г (95%) соединения **4a** в виде розоватого масла. Спектр ЯМР ^1H выделенного соединения идентичен описанному выше.

В. К смеси 0.083 г (1.1 ммоль) 2-аминоэтантиола, тщательно растертого с 0.8 г

свежепрокаленных молекулярных сит 4 \AA , прибавляют при перемешивании 0.14 г (1.1 ммоль) альдегида **1a** в 2 мл хлористого метилена. Реакционную смесь перемешивают в течение 30 мин, растворитель отдувают током воздуха, остаток делят на четыре части и помещают в стеклянные пробирки емкостью 10 мл. Одну из них выдерживают при комнатной температуре в течение 16 ч, а три облучают при мощности 140 Вт в течение 3, 6 и 10 мин. Облучение проводят экспозициями по 3 мин с последующим охлаждением до комнатной температуры, в последнем случае 3+3+4 мин. Реакционные смеси экстрагируют дихлорметаном, остаток анализируют методом ЯМР ^1H . Выделяют 0.039 г (80%) (при комнатной температуре); 0.036 г (74%) (МВ облучение, 3 мин); 0.043 г (87%) (МВ облучение, 6 мин); 0.048 г (98%) (МВ облучение, 10 мин). По данным спектров ЯМР ^1H получают смеси таутомеров **4a** и **3a** в соотношении, указанном в таблице.

2-(3-Триэтилгермил-2-пропинил)-1,3-тиазолидин (4b) получают аналогично соединению **4a** по методу А из 2.13 г (10 ммоль) пропин-1-оля **1b** и 0.77 г (10 ммоль) 2-аминоэтантиола с выходом 2.3 г (85%) в виде оранжевого масла. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3300 (N–H), 2170 (C≡C). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.83–1.10 (15H, м, Et₃Ge); 1.97 (1H, уш. с, N–H); 3.08 (2H, м, CH₂–S); 3.49 (2H, м, CH₂–N); 5.02 (1H, с, CH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 5.82, 8.93 (Et₃Ge); 36.26 (CH₂–S); 52.68 (CH₂–N); 58.73 (CH); 88.73 (≡CGe); 103.61 (C≡). Найдено, %: C 48.51; H 7.89; Ge 6.69; N 5.30; S 12.10. C₁₁H₂₁GeNS. Вычислено, %: C 48.58; H 7.79; Ge 26.69; N 5.15; S 11.79.

N¹,N²-Бис(3-триметилсилил-2-пропинилиден)-1,2-этандиамина (6a). К раствору 1.26 г (10 ммоль) альдегида **1a** в 10 мл абсолютного хлористого метилена добавляют по каплям раствор 0.3 г (5 ммоль) этилендиамина в 10 мл растворителя. Реакционную смесь перемешивают при температуре от –15 до –20 °С в течение 1 ч и далее при комнатной температуре еще 1 ч. Высушивают над MgSO₄, растворитель удаляют при пониженном давлении, получают 1.1 г (80%) соединения **6a** в виде порошка желтого цвета, т. пл. 65 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 2170 (C≡C), 1600 (C=N), 1240, 850 (Me₃Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.21 (18H, с, ((CH₃)₃Si)); 3.87 (4H, м, CH₂); 7.51 (2H, с, CH=N). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 0.20 (CH₃)₃Si; 62.30 (CH₂); 96.46 (≡CSi); 101.42 (C≡). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: –16.45. Найдено, %: C 58.73; H 8.15; N 10.23; Si 18.85. C₁₄H₂₄N₂Si₂. Вычислено, %: C 60.81; H 8.75; N 10.13; Si 20.31.

N¹,N²-Бис(3-триэтилгермил-2-пропинилиден)-1,2-этандиамина (6b) получают аналогично соединению **6a** из 2.13 г (10 ммоль) пропиоля **1b** и 0.3 г (5 ммоль) этилендиамина с выходом 0.9 г (43%) в виде оранжевого масла. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 2170 (C≡C), 1595 (C=N). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.88–1.25 (30H, м, Et₃Ge); 3.79, 3.95 (4H, с, CH₂, *цис,цис*- и *транс,транс*-изомеры); 3.81, 3.91 (4H, м, CH₂ – неэквивалентные метиленовые группы в *цис*-, *транс*-изомере); 7.52, 7.56, 7.59 (2H, с, CH=N). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 5.68, 9.17 (Et₃Ge); 55.85, 56.32, 61.72, 62.22 (CH₂); 97.99 (≡CGe); 102.58 (C≡); 144.47, 144.75, 146.53, 147.09 (CH=N). Найдено, %: C 51.00; H 7.53; Ge 34.21; N 6.32. C₁₈H₃₂Ge₂N₂. Вычислено, %: C 51.25; H 7.69; Ge 34.42; N 6.64.

5-(3-Триметилсилил-2-пропинилиден)амино-1H-1,2,4-триазол (8a). Раствор 0.88 г (7 ммоль) альдегида **1a** и 0.59 г (7 ммоль) 3-амино-1,2,4-триазола (**7**) в 10 мл абсолютного ТГФ перемешивают 3 ч при комнатной температуре. Выпавший белый кристаллический осадок отфильтровывают, промывают эфиром, высушивают в вакууме. Получают 1.19 г (88%) триазола **8a** с т. пл. 188–190 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3250 (N–H), 2180 (C≡C), 1595 (C=N), 1240, 850 (Me₃Si). Найдено, %: C 49.96; H 6.76; N 28.82; Si 14.44. C₈H₁₂N₄Si. Вычислено, %: C 49.98; H 6.28; N 29.13; Si 14.61.

5-(3-Триэтилгермил-2-пропинилиден)амино-1,2,4-триазол (8b) получают аналогично соединению **8a** из 1.49 г (7 ммоль) альдегида **1b** и 0.59 г (7 ммоль) соединения **7** в 20 мл абсолютного ацетонитрила с выходом 1.2 г (62%). Т. пл. 161 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3240 (N–H), 2180 (C≡C), 1595 (C=N). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.92–1.09 (15H, м, (Et₃Ge)); 6.07, 6.48 (1H, с, CH=N, *цис, транс*); 7.78, 8.34 (1H, с, N–CH=, триазол); 14.12 (1H, уш. с, N–H). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 5.92, 9.83 (Et₃Ge); 103.22 (≡CGe); 109.52 (C≡); 142.06–143.13 (CH=N); 150.11 (C₅ триазол); 161.18–161.59 (C₃ триазол). Найдено, %: C 47.16; H 6.06; Ge 26.03; N 20.08. C₁₁H₁₈GeN₄. Вычислено, %: C 47.38; H 6.51; Ge 26.03; N 20.08.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. С. Медведева, *ЖОрХ*, **32**, 289 (1996).
2. А. С. Медведева, А. И. Борисова, Н. Г. Воронков, *Металлоорган. химия*, **2**, 1229 (1989).
3. А. С. Медведева, А. В. Мареев, А. В. Афонин, И. А. Ушаков, *ЖОрХ*, **41**, 478 (2005).
4. А. С. Медведева, А. В. Хаташкеев, А. В. Мареев, А. В. Афонин, И. А. Ушаков, *ЖОрХ*, **41**, 1740 (2005).
5. A. Ino, Y. Hasegawa, A. Murabayashi, *Tetrahedron*, **55**, 10283 (1999).
6. A. Ino, A. Murabayashi, *Tetrahedron*, **55**, 10271 (1999).
7. A. Ino, A. Murabayashi, *Tetrahedron*, **57**, 1897 (2001).
8. A. Zamri, M. A. Abdallah, *Tetrahedron*, **56**, 249 (2000).
9. B. H. Wilmore, P. B. Cassidy, R. L. Warters, J. C. Roberts, *J. Med. Chem.*, **44**, 2661 (2001).
10. J. C. Roberts, H. T. Nagasawa, R. T. Zera, R. F. Fricke, D. J. W. Goon, *J. Med. Chem.*, **30**, 1891 (1987).
11. H. T. Nagasawa, D. J. W. Goon, W. P. Muldoon, R. T. Zera, *J. Med. Chem.*, **27**, 591 (1984).
12. H. T. Nagasawa, D. J. W. Goon, R. T. Zera, D. L. Yuzon, *J. Med. Chem.*, **25**, 489 (1982).
13. L. Szilágyi, Z. Gyorgydeák, *J. Am. Chem. Soc.*, **101**, 427 (1979).
14. В. В. Алексеев, К. Н. Зеленин, *ХГС*, 1068 (1998). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **34**, 919 (1999)].
15. R. G. Kallen, *J. Am. Chem. Soc.*, **93**, 6236 (1971).
16. N. A. Keiko, E. A. Funtikova, L. G. Stepanova, Yu. A. Chuvashhev, L. I. Larina, M. G. Voronkov, *J. Sulfur Chem.*, **25**, 351 (2004).
17. И. Иовель, Л. Голомба, Ю. Попелис, С. Гринберга, С. Беляков, Э. Лукевиц, *ХГС*, 1375 (2002). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **38**, 1270 (2002)].
18. A. S. Medvedeva, A. V. Mareev, A. I. Borisova, A. V. Afonin, *Arkivoc*, **13**, 157 (2003).
19. A. V. Mareev, A. S. Medvedeva, A. V. Khatashkeev, A. V. Afonin, *Mendeleev Commun.*, 263 (2005).
20. R. N. Gedye, F. Smith, K. Westaway, H. Ali, L. Baldisera, L. Laberge, J. Roussel, *Tetrahedron Lett.*, **27**, 279 (1986).
21. A. Loupy, A. Petit, J. Hamelin, F. Texier-Boulet, P. Jacquault, D. Mathe, *Synthesis*, 1213 (1998).
22. R. S. Varma, *Green Chem.*, **1**, 43 (1999).
23. F. Louërat, K. Bougrin, A. Loupy, A. M. O. Retana, J. Pagalday, F. Palacios, *Heterocycles*, **48**, 161 (1998).
24. S. E. Sen, S. M. Smith, K. A. Sillivan, *Tetrahedron*, **55**, 12657 (1999).
25. P. A. Vigato, S. Tamburini, *Coord. Chem. Rev.*, **248**, 1717 (2004).
26. A. Simion, C. Simion, T. Kanda, S. Nagashima, Y. Mitoma, T. Yamada, K. Mimura, M. Tashiro, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 2071 (2001).
27. М. М. Демина, А. С. Медведева, Н. И. Процук, Н. С. Вязанкин, *ЖОХ*, **48**, 1563 (1978).
28. А. С. Медведева, М. М. Демина, Н. С. Вязанкин, *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 967 (1977).

Иркутский институт химии
им. А. Е. Фаворского СО РАН,
Иркутск 664033,
e-mail: amedved@irioch.irk.ru

Поступило 30.08.2006