

В. А. Павлов, А. И. Курдюков, В. В. Москва

ФОСФОРИЛНИТРИЛОКСИДЫ

6*. РЕАКЦИИ 1,3-ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ С АЗОМЕТИНАМИ И НИТРИЛАМИ

Реакцией 1,3-диполярного циклоприсоединения диизопропоксифосфорилнитрилоксида к основаниям Шиффа синтезированы 3-(диизопропоксифосфорил)-4-*R*-5-фенил-1,2,4-оксадиазолины. Циклоприсоединение фосфорилированной окиси нитрила по азометиновой связи гидразонов не идет из-за низкой диполярфильной активности связи $C=N$ и высокой склонности фосфорилнитрилоксида к димеризации и полимеризации. Реакция нитрилоксида с 2-гидроксибензилиденанилином приводит к образованию соответствующего эфира (диизопропоксифосфорил)формгидроксамовой кислоты. Нитрильная группа вступает в реакцию циклоприсоединения только при ее активации. Взаимодействие бензольного раствора фосфорилнитрилоксида с тетрацианэтиленом дает бисаддукт по двум связям $C\equiv N$ без затрагивания связи $C=C$.

Реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения ароматических и алифатических нитрилоксидов к углерод-углеродным кратным связям широко освещены в литературе [2, 3]. В то же время взаимодействие нитрилоксидов с диполярфилами, содержащими кратные связи углерод-гетероатом, менее изучено, несмотря на то что это удобный путь синтеза некоторых гетероциклических соединений, таких, как оксадиазолины, оксадиазолы и других.

Ранее мы сообщали, что получаемый из оксимов (диизопропоксифосфорил)карбонилгалогенидов диизопропоксифосфорилнитрилоксид (I) легко вступает в реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения с алкенами и алкинами, приводя к образованию соответствующих фосфорилированных изоксазолинов и изоксазолов [4—8].

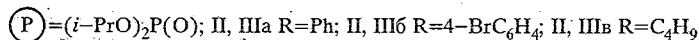
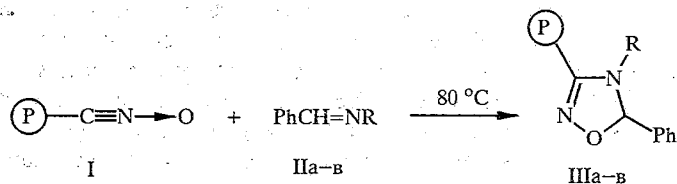
Расширение реакций циклоприсоединения на диполярофилы, содержащие гетерократные связи, в частности азометиновую и нитрильную, позволило бы получить фосфорилированные оксадиазолины и оксадиазолы с фосфорной функцией в положении 3 гетероцикла, что, по нашим сведениям, до сих пор не было осуществлено. Известно, что реакционная способность гетеродиполярфилов соответствует тем обобщениям, которые сделаны для циклоприсоединения с участием аддендов с углерод-углеродными ненасыщенными связями [3]. Причем диполярфильная активность связи $C=N$ сравнима со связью $C=C$ при идентичном окружении [3]. Конкуренция между кратными связями $C=C$ и $C=N$ наблюдалась при циклоприсоединении нитрилоксидов к некоторым ненасыщенным гетероциклическим соединениям, а также к соединениям, способным к таутомеризации. Например, когда в качестве диполярфила используют β -дикетонмоноимины, то получают как моноаддукты, образующиеся из кето-енаминного таутомера, так и бисаддукты, получающиеся из енол-иминной формы [9]. Диполярное циклоприсоединение бензонитрилоксидов к 1,4-дiazепинам проходит исключительно по связи $C(7)=N(1)$ diaзепина [10]. С учетом изложенного циклоприсоединение фосфорилнитрилоксида к азометиновой связи должно привести к соответствующему фосфорилированному гетероциклу.

* Сообщение 5 см. [1].

Фосфорилированные окиси нитрилов, в сравнении с ароматическими нитрилоксидами, более реакционноспособны. Однако увеличение их активности в реакциях циклоприсоединения сопровождается заметным облегчением протекания побочных реакций олигомеризации и димеризации. Поэтому для увеличения выхода требуемого циклоаддукта в зависимости от активности диполярофида приходится широко варьировать условия проведения синтеза, концентрацию аддендов и скорость введения в реакцию фосфорилнитрилоксида [8]. Можно было ожидать, что при переходе к реакциям циклоприсоединения с участием диполярофилов, содержащих азометиную связь, наличие в диполе фосфорильного заместителя также скажется на специфике циклоприсоединения.

Действительно, бензилиденанилин (IIa), выбранный нами в качестве простейшего диполярофила, содержащего связь $\text{CH}=\text{N}$, в условиях, оптимальных для циклоприсоединения с участием алкенов и алкинов, в реакции с фосфорилнитрилоксидом I, получаемым *in situ*, не образует ожидаемого Δ^2 -1,2,4-оксадиазолина. При температуре ниже 0°C имин IIa не вступает во взаимодействие с фосфорилнитрилоксидом, а при комнатной температуре данная реакционная система дает не поддающуюся разделению смесь продуктов. Очевидно, поэтапный механизм полимеризации фосфорилнитрилоксида, предполагающий образование высокорекционноспособных интермедиатов, способствует их взаимодействию с бензилиденанилином, и продуктами такого взаимодействия могут быть полимерные системы с участием последнего. Поддержание низкой концентрации фосфорилнитрилоксида также оказывается недостаточным условием для образования желаемого циклоаддукта. В этой ситуации для получения Δ^2 -1,2,4-оксадиазолина важным могло оказаться поддержание постоянной низкой концентрации обоих аддендов при условии их эквимольного соотношения.

Для проверки этого положения бензольные растворы реагентов [оксим (диизопропоксифосфорил) карбонилхлорида и триэтиламин с бензилиденанилином] одновременно добавляли по каплям к кипящему бензолу. Повышенная температура реакционной смеси необходима для дополнительной активации процесса. Полученную после полного введения реагентов и удаления растворителя реакционную массу подвергли препаративной колоночной хроматографии. При этом был выделен 3-(диизопропоксифосфорил)-4,5-дифенил-1,2,4-оксадиазолин (IIIa) с выходом 22%.



В аналогичных условиях удалось также ввести в реакцию бензилиден-4-броманилин (IIб) и бензилиденбутиламин (IIв). Из реакционных смесей посредством препаративной колоночной хроматографии были выделены 3-(диизопропоксифосфорил)-4-(4-бромфенил)-5-фенил-1,2,4-оксадиазолин (IIIб) и 3-(диизопропоксифосфорил)-4-бутил-5-фенил-1,2,4-оксадиазолин (IIIв) соответственно с выходом 24 и 15%.

Строение циклоаддуктов IIIa—в подтверждено данными спектров ЯМР ^1H , ^{13}C , ^{31}P и ИК. Циклоприсоединение нитрилоксидов к азометинам региоспецифично. В спектрах ЯМР ^1H соединений IIIa—в синглетный сигнал в области 6,37 (IIIa), 6,25 (IIIб) и 6,09 м. д. (IIIв) соответствует одному

протону, находящемуся в положении 5 1,2,4-оксадиазолинового кольца [11]. Следует отметить, что метиленовые протоны при атоме азота в бутильном радикале соединения IIIв регистрируют в виде двух мультиплетов 3,29 и 3,03 м. д. В спектре ЯМР ^{13}C оксадиазолина IIIа наряду с сигналами, принадлежащими углеродным ядрам фенильных колец (125,9...138,9 м. д.) и изопропоксильных групп (73,2 и 24,7; 23,9 м. д.), наблюдается дублетный сигнал атома углерода С(3), связанного с ядром фосфора с химическим сдвигом 149,5 м. д. и $^1\text{J}_{\text{PC}}$ 232,0 Гц, а также сигнал, принадлежащий углероду метиновой группы гетероцикла С(5) с химическим сдвигом 99,0 м. д. и $^1\text{J}_{\text{CN}}$ 174,0 Гц.

Выше отмечалось, что фосфорилнитрилоксид I вступает в реакцию циклоприсоединения с азометиновой связью в условиях низкой концентрации аддендов и повышенной температуры. Менее реакционноспособный по сравнению с фосфорилнитрилоксидом бензонитрилоксид [12, 13] реагирует с бензилиденанилином при комнатной температуре в течение 7 ч, давая соответствующий 3,4,5-трифенил-1,2,4-оксадиазолий с выходом 23% [11] (синтез этого вещества с выходом 71% был описан также в работе [14]). Снижение температуры и увеличение продолжительности реакции оказалось возможным благодаря большей стабильности бензонитрилоксида, т. е. его малой склонности к димеризации в фуроксан [3, 12, 13]. В общем случае повышение стабильности нитрилоксида и, вследствие этого, увеличение продолжительности процесса циклоприсоединения к гетерократным связям позволяет проводить реакции с весьма инертными диполярфилами. Так, обработка фенилизотиоцианата, проявляющего очень низкую реакционную способность кумулированной связи $\text{C}=\text{N}$, стабильным мезитонитрилоксидом в течение 15 месяцев приводит к 76% выходу аддукта [14]. Некоторые функциональные группы, содержащие связь $\text{C}=\text{N}$, такие, как, например, оксимная и гидразонная, являются реакционноспособными по отношению к нитрилоксидам [3], хотя в некоторых случаях необходим кислотный катализ, чтобы достичь удовлетворительных выходов. Нам не удалось провести реакцию фосфорилнитрилоксида с такими диполярфилами, как диметилгидразон бензальдегида и 1-(3-нитрофенил)-3-бензилиденгидразон. Очевидно, недостаточная реакционная способность $\text{C}=\text{N}$ связи в этих диполярфилах не может конкурировать с высокой склонностью фосфорилированной окиси нитрила к димеризации и олигомеризации.

Диполярфили с азометиновой связью в реакции циклоприсоединения с окисями нитрилов, как отмечалось выше, всегда приводят к единственному региоизомеру [2, 3, 10, 11]. Наблюдаемая региоспецифичность циклоприсоединения поддается легкой интерпретации при анализе состава взаимодействующих граничных молекулярных орбиталей. Как видно из рис. 1, коэффициенты АО НСМО на реакционных центрах бензилиденани-

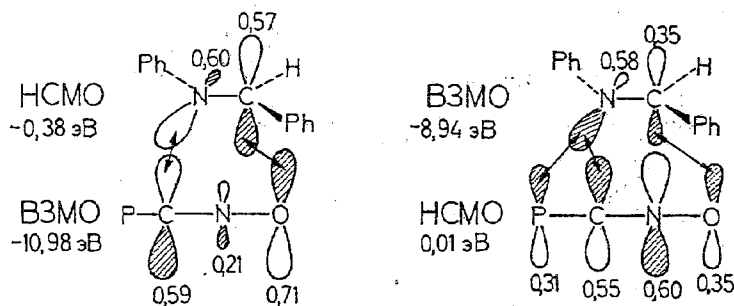
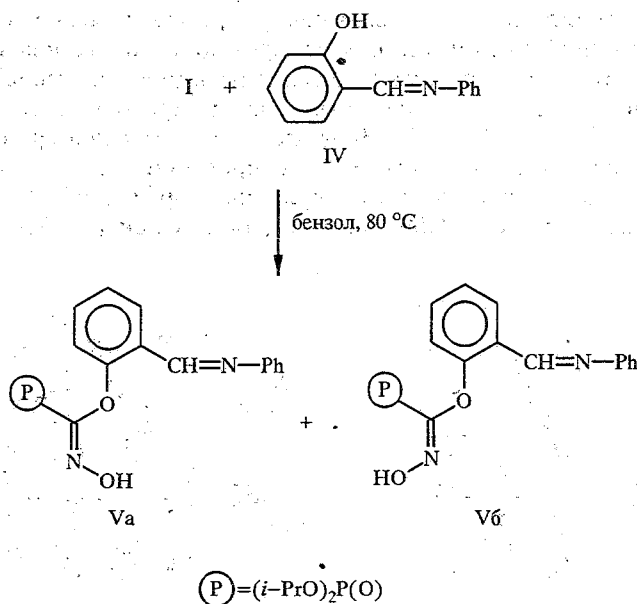


Рис. 1. Схема взаимодействий граничных молекулярных орбиталей модельного диметоксифосфорилнитрилоксида и бензилиденанилина (метод MNDO)

лина сопоставимы по величине, однако коэффициент АО ВЗМО на атоме азота почти в два раза больше коэффициента АО углерода. Аналогичная картина имеет место для большинства азометиновых соединений: В то же время, для окисей нитрила, в частности для фосфорилнитрилоксида, на реакционных центрах наблюдается противоположная зависимость, т. е. коэффициент АО НСМО является наибольшим для нитрилоксидного атома углерода [13]. Учитывая, что ориентация аддендов при взаимодействии проходит по принципу наибольшего перекрытия атомных орбиталей, участвующих в формировании новых связей, к причинам, обуславливающим региоспецифичность наблюдаемых реакций, следует отнести неоднородность состава НСМО диполя и ВЗМО диполярфила на реакционных центрах.

При попытке ввести в реакцию циклоприсоединения 2-гидросибензилиденанилин (IV) в условиях, аналогичных приведенным выше, было выделено вещество, спектральные характеристики которого оказались существенно отличными от таковых для аддуктов IIIa—в. Так, в спектре ЯМР ^1H этого соединения отсутствует сигнал, характерный для протона, находящегося в положении 5 оксадиазолинового гетероцикла. В то же время в спектре присутствует сигнал с химическим сдвигом 8,57 м. д., близкий к химическому сдвигу азометинового протона (8,39 м. д.) исходного 2-гидросибензилиденанилина, и отсутствует сигнал фенольного протона группы OH (уширенный сигнал 12,84 м. д.). Наряду с этим в спектре присутствуют характерные сигналы протонов изопропоксильных и фенольных групп. В спектре ЯМР ^{13}C вместо сигнала атома углерода в положении 5-оксадиазолинового кольца (99,0 м. д., $^1J_{\text{CN}} 174,0$ Гц) появляется сигнал с химическим сдвигом 162,9 м. д. и $^1J_{\text{CN}} 161,0$ Гц, т. е. слабopольный сигнал, принадлежащий углероду группы $\text{CH}=\text{N}$. Эти данные, а также наличие в спектре ЯМР ^{31}P двух сигналов равной интенсивности (-1,83 и -3,14 м. д.) дают основание говорить о том, что продуктом реакции в данном случае является 2-оксибензилиденанилиновый эфир (диизопропоксифосфорил)-формгидроксамовой кислоты (V), представленный смесью *E*- и *Z*-изомеров состава 1 : 1. Образование *Z*-формы, вероятно, является следствием термической изомеризации образующегося в ходе реакции *E*-изомера Va.



Таким образом, нуклеофильная активность кислорода гидроксильной группы в 2-гидросибензилиденанилине выше диполярфильной активности связи $\text{CH}=\text{N}$, что приводит к 1,3-аддукту с фосфорилнитрилоксидом в результате нуклеофильного присоединения.

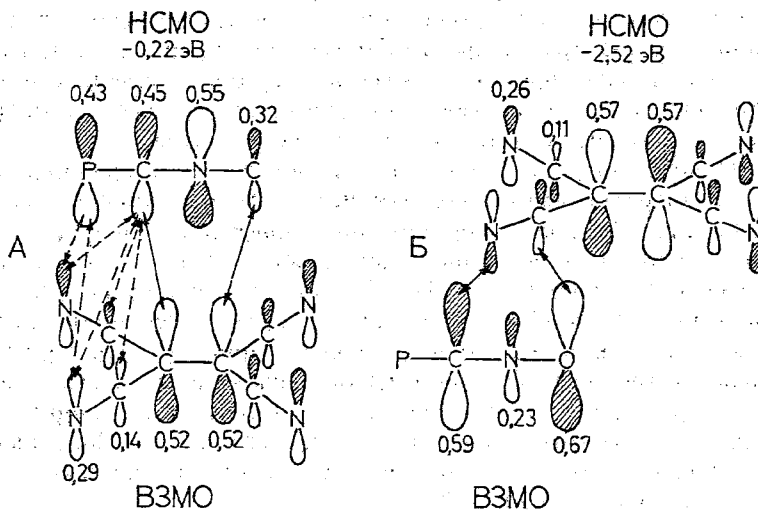


Рис. 2. Схема взаимодействий граничных молекулярных орбиталей диметоксифосфорилнитрилоксида и тетрацианэтилена (метод АМ1). А — нереализующийся тип циклоприсоединения; Б — экспериментально подтвержденный тип циклоприсоединения (→ — орбитальные взаимодействия, способствующие завязыванию связей; ← — орбитальные взаимодействия, препятствующие завязыванию связей)

орбиталей на углеродах этиленовой связи значительно превышают коэффициенты на атомах нитрильной группы. Причиной наблюдаемой избирательности, очевидно, являются вторичные орбитальные взаимодействия, возникающие при начальной ориентации аддендов (рис. 2). Эти взаимодействия препятствуют завязыванию новых связей изоксазолинового типа в силу несоответствия четности атомных орбиталей фосфорильной группы (НСМО) и атомов нитрильной связи (ВЗМО). Отталкивание этих групп усиливается также по причине симметричного строения тетрацианэтилена и одновременного участия во вторично-орбитальных взаимодействиях связей $C \equiv N$.

Аналогичные взаимодействия возникают и в случае ароматических нитрилоксидов, для которых наблюдается несоответствие четности атомных орбиталей фенильного кольца и нитрильных групп.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР ^{13}C записаны на ЯМР Фурье-спектрометре Bruker WM-250. Спектры ЯМР 1H регистрировали на спектрометрах Varian T-60, Bruker WP-80 и Bruker WM-250. Спектры ЯМР ^{31}P записаны на спектрометре Bruker WP-80. Химические сдвиги ^{13}C и 1H определены относительно ТМС. Химические сдвиги фосфора измерены относительно H_3PO_4 (внешний стандарт). ИК спектры получены на приборах UR-20 и IFS-113V (Bruker) с накоплением и компьютерной обработкой.

Контроль за ходом реакций и чистотой полученных веществ осуществляли методом ТСХ на пластинках Silufol UV-254 и Alufol. Препаративное хроматографическое деление проводили на силикагеле типа Merck-9385 с дисперсностью 40...63 мкм или оксиде алюминия (нейтральном по Брокману II). Соотношение сорбент : вещество в пределах от 50 : 1 до 100 : 1. Элюирующая смесь этилацетат—гексан. Квантово-химические расчеты проводились по программе МОРАС, версия 3. 10.

Синтез оксима (диизопропоксифосфорил)карбонилхлорида описан в [18, 19].

Синтез 3-(диизопропоксифосфорил)-4-замещенных-5-фенил-1,2,4-оксадиазолинов Ша—в (общая методика). Раствор соответствующего бензилиденанилина (2,05...4,10 ммоль) и триэтиламина (2,05...4,10 ммоль) в абсолютном бензоле и раствор оксима (диизопропоксифосфорил)карбонилхлорида (2,05...4,10 ммоль) в абсолютном бензоле одновременно добавляют по каплям в течение 1 ч к кипящему абсолютному бензолу. Затем выдерживают при этой температуре 1 ч и охлаждают до 20 °С. Проводят препаративную флэш-хроматографию на силикагеле или оксиде алюминия. Выделяют маслообразные вещества Ша—в.

3-(Диизопропоксифосфорил)-4,5-дифенил-1,2,4-оксадиазолин (Ша, C₂₀H₂₅N₂O₄P). Получают из раствора оксима (диизопропоксифосфорил)карбонилхлорида (0,50 г) в 25 мл бензола и раствора триэтиламина (0,29 мл) и бензилиденанилина (0,42 г) в 25 мл бензола добавлением по каплям к кипящему бензолу (25 мл). Проводят препаративную флэш-хроматографию на оксиде алюминия. Выделяют Ша с ярко выраженным запахом миндаля. Выход 0,20 г (22%). n_D^{20} 1,5108. Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃): 7,24, 7,03 (1H, м, Ph), 6,37 [1H, с, H(5)], 4,65 [2H, м, CH(CH₃)₂], 1,28 м. д. [12H, м, CH(CH₃)₂]. Спектр ЯМР ³¹P (CCl₄): 0,40 м. д. (с). Спектр ЯМР ¹³C (CCl₄): 149,5 [C(3)], ¹J_{PC} 232,0], 138,9, 138,2, 130,1, 129,3, 128,1, 126,7, 125,9 (Ph), 99,0 [C(5), ¹J_{CH} 174,0], 73,2 [CH(CH₃)₂], ¹J_{CH} 162,4], 24,7, 23,9 м. д. [CH(CH₃)₂], ¹J_{CH} 129,9]. ИК спектр: 3100...3000, 2990, 2940, 2880, 1740, 1710, 1650, 1605, 1555, 1505, 1468, 1390, 1280, 1250, 1210, 1180, 1150, 1110, 1060...970, 945, 840, 770 см⁻¹.

3-(Диизопропоксифосфорил)-4-(4-бромфенил)-5-фенил-1,2,4-оксадиазолин (Шб, C₂₀H₂₄N₂O₄PBr). Получают из раствора оксима (диизопропоксифосфорил)карбонилхлорида (1,00 г) в 25 мл бензола и раствора триэтиламина (0,57 мл) и бензилиден-4-броманилина (1,07 г) в 25 мл бензола добавлением к кипящему бензолу (25 мл). Проводят препаративную флэш-хроматографию на силикагеле. Выделяют Шб с выходом 0,46 г (24%). n_D^{20} 1,5625. Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃): 7,20...6,70 (9H, м, Ph), 6,25 [1H, с, H(5)], 4,40 [2H, м, CH(CH₃)₂], 0,80 м. д. [12H, м, CH(CH₃)₂]. Спектр ЯМР ³¹P (CCl₄): -3,00 м. д. (с). ИК спектр: 3100...2800, 1600, 1550, 1500, 1470, 1385, 1280, 1250, 1185, 1150, 1110, 1080, 1060, 1030...1000, 945, 910, 830, 770, 705, 650, 600, 570 см⁻¹.

3-(Диизопропоксифосфорил)-4-бутил-5-фенил-1,2,4-оксадиазолин (Шв, C₁₈H₂₉N₂O₄P). Получают из раствора оксима (диизопропоксифосфорил)карбонилхлорида (1,00 г) в 25 мл бензола и раствора триэтиламина (0,57 мл) и бензилиденбутиламина (0,66 г) в 2 мл бензола добавлением к кипящему бензолу (25 мл). Проводят препаративную флэш-хроматографию на силикагеле. Выделяют 0,23 г (15%) соединения Шв. Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃): 7,34...7,30 (5H, м, Ph), 6,09 [1H, с, H(5)], 4,84...4,65 [2H, м, CH(CH₃)₂], 3,38...3,20 (1H, м, CH₂N), 3,10...2,95 (1H, м, CH₂N), 1,36, 1,35, 1,33, 1,32 [12H, д. д, CH(CH₃)₂], 1,19...1,17 (4H, м, CH₂CH₂CH₂CH₃), 0,82...0,71 м. д. (3H, м, CH₂CH₂CH₂CH₃). Спектр ЯМР ³¹P (CCl₄): -2,00 м. д. (с).

2-Оксибензилиденаниловый эфир (диизопропоксифосфорил)формгидроксамовой кислоты (Va E- и Vb Z-изомеры, C₂₀H₂₅N₂O₅P). Получают по методике, описанной выше, из раствора оксима (диизопропоксифосфорил)карбонилхлорида (0,5 г) в 25 мл бензола и раствора триэтиламина (0,29 мл) и 2-гидроксibenзилиденанилина (0,40 г) в 25 мл бензола добавлением по каплям к кипящему бензолу (25 мл). Проводят препаративную флэш-хроматографию на оксиде алюминия. Выделяют смесь Va, б в соотношении 1 : 1. Выход 0,32 г (39%). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃): 8,57 (1H, с, CH=N), 7,45...6,55 (9H, м, Ph), 4,87 [2H, м, CH(CH₃)₂], 1,25 м. д. [12H, м, CH(CH₃)₂]. Спектр ЯМР ³¹P (CCl₄): -1,33 (с), -3,14 м. д. (с). Спектр ЯМР ¹³C (CCl₄): 169,6, 161,0, 148,4, 132,7, 132,3, 129,1, 126,5, 121,0, 118,6, 116,8 (Ph), 162,9 (CH=N), ¹J_{CH} 161,0], 73,7 [CH(CH₃)₂], 23,8, 23,5, 23,2 м. д. [CH(CH₃)₂]. ИК спектр: 3500...3000, 2990, 2935, 2880, 2600...2400, 1715, 1600, 1510, 1490, 1460, 1380, 1255, 1185, 1150, 1105, 1060...970, 959, 795, 765, 695, 610, 570 см⁻¹.

1,2-Бис[3-диизопропоксифосфорил]-1,2,4-оксадиазол-5-ил]-1,2-дицианоэтилен (VI, C₂₀H₂₈N₆O₈P₂) и его тетрацианэтиленовый Л-комплекс (VII, C₂₆H₂₈N₁₀O₈P₂). Раствор (2,25 г, 10,38 ммоль) диизопропоксифосфорилнитрилоксида [8] в 60 мл бензола при 0 °С смешивают с раствором (3,98 г, 31,08 ммоль) тетрацианэтилена в 60 мл бензола. Через 30 мин реакционную смесь нагревают до кипения и кипятят 6 ч. Проводят препаративную колоночную флэш-хроматографию на силикагеле. Выделяют VI в виде бесцветных кристаллов с T_{пл} 185 °С (0,04 г) и донорно-акцепторный комплекс тетрацианэтилена с бисаддуктом VII (0,92 г). Соединение VI: спектр ЯМР ³¹P (CDCl₃): -3,30 м. д. (с). Соединение VII: спектр ЯМР ³¹P (CDCl₃): -3,37 м. д. (с).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В. А., Курдюков А. И., Горин Б. И., Сагитова Ф. Р., Аристова Н. В., Дейко Л. И., Москва В. В. // ХГС. — 1994. — № 6. — С. 821.
2. Grundmann C., Grunanger P. The Nitrile Oxides. — Berlin; Heidelberg; New York: Springer Verlag, 1971. — 242 p.
3. Caramella P., Grunanger P. // 1,3-Dipolar Cycloaddition Chemistry / Ed. A. Padwa. — New York: John Wiley & Sons, 1984. — Vol. 1. — P. 291.
4. Аристова Н. В., Горин Б. И., Коваленко С. В., Павлов В. А., Москва В. В. // ХГС. — 1990. — № 9. — С. 1287.
5. Pavlov V. A., Aristova N. V., Chertanova L. V., Kurdjukov A. I., Gorin B. I., Makhaeva G. F. // 3-rd European Symposium on Organic Reactivity: Abstracts. — Goteborg, Sweden, 1991. — 219 p (P. 85).
6. Pavlov V. A., Kurdjukov A. I., Aristova N. V., Gorin B. I., Moskva V. V., Fazlejeva F. R. // Phosph., Sulfur and Silicon. — 1993. — Vol. 77. — P. 154.
7. Павлов В. А., Курдюков А. И., Племенков В. В., Халиуллин Р. Р., Москва В. В. // ЖОХ. — 1993. — Т. 63. — С. 637.
8. Павлов В. А., Курдюков А. И., Аристова Н. В., Горин Б. И., Зябликова Т. А., Москва В. В. // ЖОХ. В печати.
9. Morrocchi S., Ricca A., Velo L. // Chim. Ind. (Milan). — 1967. — Vol. 49. — P. 168.
10. Ohba Y., Matsukura I., Nishiwaki T. // J. Chem. Res. (S). — 1987. — P. 103.
11. Alcaide B., Mardomingo C. L., Plument J., Cativiela C., Mayoral J. A. // Can. J. Chem. — 1987. — Vol. 65. — P. 2050.
12. Хмельницкий Л. И., Новиков С. С., Годовикова Т. И. Химия фуросанов (строение и синтез). — М.: Наука, 1981. — 328 с.
13. Курдюков Б. И., Павлов В. А., Горин Б. И., Москва В. В. // ЖОХ. В печати.
14. Bast K., Christl M., Huisgen R., Mack W. // Chem. Ber. — 1972. — Bd 105. — S. 2825.
15. Morrocchi S., Ricca A., Velo L. // Tetrah. Lett. — 1967. — P. 331.
16. Beltrame P., Gelli G., Loi A. // J. Chem. Res. (S). — 1978. — P. 420.
17. Franz J. E., Howe R. K., Pearl H. K. // J. Org. Chem. — 1976. — Vol. 41. — P. 620.
18. Соколов М. П., Бузыкин Б. И., Павлов В. А. // ЖОХ. — 1990. — Т. 60. — С. 223.
19. Шагидуллин Р. Р., Павлов В. А., Бузыкин Б. И., Аристова Н. В., Чертанова Л. Ф., Вандюкова И. И., Плямоватый А. Х., Еникеев К. М., Соколов М. П., Москва В. В. // ЖОХ. — 1991. — Т. 61. — С. 1590.