УДК 547.63;547.815

СИНТЕЗ ГЕКСАФТОРФОСФАТОВ 9-ОКСОСЕЛЕНОКСАНТЕНИЯ И ТРИАРИЛСЕЛЕНОНИЯ

© В. А. Лоскутов,[1•] С. В. Балина,[1] В. В. Русских,[1] В. В. Шелковников[1,2]

[1]*Новосибирский институт органической химии имени Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук*
Россия, 630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 9; e-mail: val@nioch.nsc.ru
[2]*Томский государственный университет*

Действием окислителей (м-хлорнадбензойная кислота, перекись водорода) на производные селеноксантен-9-она и дифенилселенида получены соответствующие селеноксиды, которые при взаимодействии с гептилфениловым эфиром и анизолом в смеси $MeSO_3H$–P_2O_5 с последующей обработкой KPF_6 образуют гексафторфосфаты 9-оксоселеноксантения и триарилселенония.

Ключевые слова: селеноксантен-9-оны, диарилселениды, диарилселеноксиды, гексафторфосфаты арил(гетарил)селенония.

Ониевые (иодониевые, сульфониевые, аммониевые) соли используются в качестве инициаторов катионной и радикальной фотополимеризации [1–4]. Наиболее распространенными являются триарилсульфониевые соли [5–9] и сульфониевые производные на основе ряда серосодержащих гетероциклических соединений (тиоксантена, тиантрена, бензотиофена и др.) [10–14], представляющие интерес для голографии, а также в качестве генераторов кислоты для фоторезистов и фотохимического детритилирования в микрочиповом олигонуклеотидном синтезе.

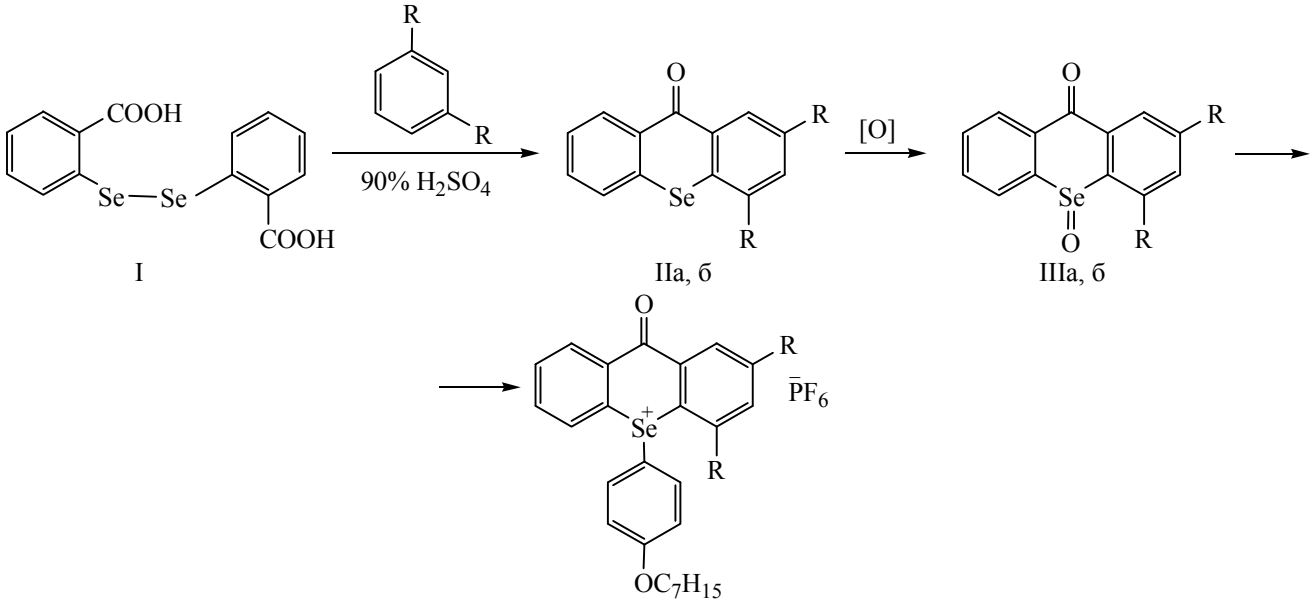
Введение тяжелых атомов в молекулу фотоинициатора увеличивает вероятность его синглет-триплетной S_1–T_1 конверсии в возбужденном состоянии [15, 16]. Поскольку фотохимические реакции с высокой вероятностью протекают с участием триплетного состояния, то введение в органические сульфониевые соли более тяжелых атомов, чем атом серы (например, селена или теллура), может способствовать повышению их фотохимической активности.

Ранее [17, 18] в качестве фотоинициаторов нами были предложены гексафторфосфаты тиоксантения, синтезированные реакцией S-оксидов замещенных тиоксантен-9-онов с активированными ароматическими соединениями. Целью настоящей работы является использование этого подхода для получения солей селенония на примере Se-оксидов производных селеноксантен-9-она и диарилселенидов. Сведения о такой возможности в литературе нами не обнаружены.

Установлено, что, как и в случае дитиосалициловой кислоты [19], диселеносалициловая кислота (I) реагирует с ароматическими углеводородами (бензол, *м*-ксилол) в 90 %-ной серной кислоте с образованием селеноксантенонов (IIа, б), которые при окислении *м*-хлорнадбензойной кислотой превращаются в соответствующие Se-оксиды (IIIа, б). Следует отметить, что в отличие от сернистых аналогов диарилселениды не переокисляются до селенонов [20], поэтому образование соединений (IIIа, б) происходит легко и с хорошим выходом. При взаимодействии полученных селеноксидов с гептилфениловым эфиром в смеси метансульфокислота–фосфорный ангидрид (10:1) и последующей обработке водным раствором KPF_6 были получены гексафторфосфаты селеноксантения (IVа, б).

Этот метод синтеза селенониевых солей распространен нами также на производные триарилселенония, которые в отличие от солей селеноксантения в литературе известны в значительно большей степени. Одним из давно известных методов их синтеза является взаимодействие ароматических углево-

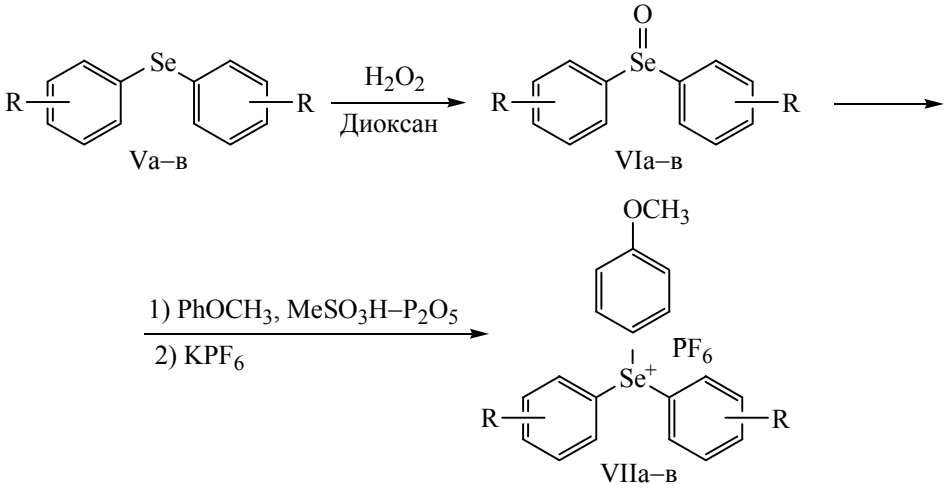
Поступило в Редакцию 29 декабря 2014 г.



R = H (а), CH_3 (б).

дородов с диоксидом селена или диарилселенодихлоридом в присутствии $AlCl_3$ (реакция Фриделя–Крафтса) [21]. Образование триарилселенония может происходить и в отсутствие $AlCl_3$, например, как показано авторами работы [22] при нагревании анизола и селенодиоксида в трифторуксусной кислоте. Известными методами синтеза солей триарилселенония является катализируемое медью арилирование диарилселенидов диарилиодониевыми солями [23, 24], а также конденсация металлоорганических соединений (реагент Гриньяра и др.) и оксохлорида селена или диарилселеноксидов [25–28]. Существенным недостатком этих методов синтеза солей триарилселенония является использование в большинстве случаев труднодоступных и недостаточно устойчивых в обычных условиях производных селена [21]. Поэтому метод синтеза арилзамещенных селениевых солей реакцией диарилселеноксидов с активированными ароматическими соединениями представляется более простым и удобным.

В качестве исходных соединений нами использованы дифенилселенид (Va) и его метоксильные производные (Vб, в), которые при окислении перекисью водорода были превращены в соответствующие Se-оксиды (VIа–в). При взаимодействии последних с анизолом в смеси $MeSO_3H–P_2O_5$ и последующей обработке KPF_6 получены гексафторфосфаты триарилселенония (VIIа–в) с выходом 70–80%.



R = H (а), 3-OCH_3 (б), 4-OCH_3 (в).

Гексафторфосфаты (IV, VII) представляют собой бесцветные кристаллические вещества, растворимые в органических растворителях и не растворимые в воде.

Состав и строение синтезированных соединений подтверждены аналитическими и спектральными данными. В спектре ЯМР ^{1}H незамещенного селеноксантенона (IIа) протоны H^1 и H^8, находящиеся по соседству с карбонильной группой, резонируют в области слабого поля (8.63 м. д.). В случае 2,4-диметильного производного (IIб) сигнал от протона H^8 остается на прежнем месте (8.60 м. д.), а сигнал протона H^1 смещается незначительно в сильное поле, однако его положение (8.34 м. д.) однозначно свидетельствует о дезэкранирующем влиянии карбонильной группы, что подтверждает строение соединения как 2,4-диметильного производного, а не изомерного ему 1,3-дизамещенного селеноксантенона.

Таким образом, реакция селеноксидов арил(гетарил)селенидов с активированными ароматическими соединениями (анизол, фенилгептиловый эфир) в смеси $MeSO_3H$–P_2O_5 является простым и удобным методом синтеза фотоинициаторов – солей арил(гетарил)селенония.

Экспериментальная часть

ИК спектры записаны на приборе Vector 22 в таблетках KBr. Спектры ЯМР получены на приборе Bruker AV-300 [300.13 (^{1}H), 282.36 МГц (F^{19})] и на спектрометре AM-400 (400.13 МГц) в $CDCl_3$, внутренний стандарт – сигнал остаточных протонов $CDCl_3$. Химические сдвиги ^{19}F приведены относительно внешнего стандарта – C_6F_6. Масс-спектры регистрировали на масс-спектрометре высокого разрешения Thermo Fisher Scientific DFS. Контроль за ходом реакций и чистотой соединений осуществляли методом ТСХ на пластинах Sorbfil (элюент – хлороформ). Для колоночной хроматографии использовали силикагель производства ООО «Имид» (фракция 50–160 мкм).

Бис(2-карбоксифенил)диселенид (I) получали из антраниловой кислоты и калийполиселенида по методике [29], т. пл. 299–301°C (этанол) (304–306°C [29], 296–297°C [30], 358–360°C [31]). Спектр ЯМР ^{1}H идентичен спектрам, приведенным в работах [29, 31]. Масс-спектр: *m*/*z* 397.8925 $[M]^+$ (вычислено для $C_{14}H_{10}O_4{}^{78}Se_2$: *M* 397.8920).

9*H*-Селеноксантен-9-он (IIа). К смеси 1 г диселенида (I) и 25 мл 90 %-ной H_2SO_4, охлажденной до 0°C, прибавляли 5 мл абсолютного бензола, перемешивали 3 ч и затем выдерживали при комнатной температуре в течение 20 ч, после чего нагревали 6 ч при 50°C и 25 ч при 80–85°C. Смесь охлаждали и выливали на лед. Осадок отфильтровывали, промывали последовательно водой, 5%-ным водным раствором NaOH, водой и хроматографировали (элюент – хлороформ). Выход 0.5 г (38%), т. пл. 190−192°C (191–192°C [32]). ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 1634 (C=O). Спектр ЯМР ^{1}H (400 МГц), δ, м. д.: 7.45 т. д и 7.52 т. д (4H, $H^{2,3,6,7}$, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 7.62 д. д (2H, $H^{4,5}$, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 8.63 д. д (2H, $H^{1,8}$, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц).

2,4-Диметил-9*H*-селеноксантен-9-он (IIб) получали аналогично из 1 г диселенида (I) и 3 мл *м*-ксилола; нагревание при температуре 130–135°C в течение 25 ч. Выход 0.5 г (35%), т. пл. 128–131°C. ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 3061, 2920, 2853, 2737 (C–H), 1630 (C=O), 1587 (C=C). Спектр ЯМР ^{1}H (400 МГц), δ, м. д.: 2.42 с и 2.46 с (6H, 2Me), 7.28 д (1H, H^3, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 7.44 т. д и 7.51 т. д (2H, $H^{6,7}$, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.5 Гц), 7.64 д. д (1H, H^5, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.5 Гц), 8.34 д (1H, H^1, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 8.60 д. д (1H, H^8, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.5 Гц). Масс-спектр: *m*/*z* 284.0078 $[M]^+$ (вычислено для $C_{15}H_{12}O^{76}Se$: *M* 284.0075).

Окисление селеноксантенонов (II) *м*-хлорнадбензойной кислотой. К охлажденному (0°C) раствору 2 ммоль селеноксантенона (II) в 10 мл хлороформа прибавляли раствор 4 ммоль *м*-хлорнадбензойной кислоты в 15 мл хлороформа. Смесь перемешивали 30 мин, промывали 5%-ным водным раствором NaOH и водой. Хлороформный раствор сушили, отгоняли ~20 мл растворителя, к остатку прибавляли диэтиловый эфир и отделяли осадок оксида (III).

9*H*-Селеноксантен-9-он-10-оксид (IIIа). Выход 64%, т. пл. 237–240°C (т. пл. 236–237°C [32]). ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 1666 (C=O), 806 (Se=O) (805 [33]). Спектр ЯМР ^{1}H (400 МГц), δ, м. д.: 7.72 т. д и 7.80 т. д (4H, $H^{2,3,6,7}$, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.3 Гц), 8.08 д. д (2H, $H^{4,5}$, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.3 Гц), 8.38 д. д (2H, $H^{1,8}$, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.3 Гц). Масс-спектр: *m*/*z* 273.9687 $[M]^+$ (вычислено для $C_{13}H_8O_2{}^{78}Se$: *M* 273.9692).

2,4-Диметил-9*H*-селеноксантен-9-он-10-оксид (IIIб). Выход 87%, т. пл. 198–200°C. ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 3055–2730 (C–H), 1657 (C=O), 800 (Se=O). Спектр ЯМР ^{1}H (400 МГц), δ, м. д.: 2.45 с и 2.82 с (6H, 2Me), 7.39 д (1H, H^3, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 7.71 т. д и 7.78 т. д (2H, $H^{6,7}$, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.5 Гц), 8.00 д. д (1H, H^5, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.5 Гц), 8.13 д (1H, H^1, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 8.41 д. д (1H, H^8, $^3J_{HH}$ 8.0, $^4J_{HH}$ 1.5 Гц). Масс-спектр, *m*/*z* ($I_{отн}$, %): 302 (1.74), 300 (0.77), 286

(35.51), 284 (13.01), 208 (100.00). Найдено, %: C 59.13; H 3.76. $C_{15}H_{12}O^{78}Se$. Вычислено, %: C 59.40; H 3.96.

Дифенилселенид (Va) получали из анилина и полиселенида калия по методике [34], т. кип. 165–167°C (12 мм рт. ст.) {т. кип. 165–167°C (12 мм рт. ст. [34]}.

Бис(3-метоксифенил)селенид (Vб) получали из *м*-анизидина и полиселенида калия аналогично. Выход 30%, т. кип. 169–171°C (1 мм рт. ст.) {т. кип. 169°C (1 мм рт. ст. [35]}.

Бис(4-метоксифенил)селенид (Vв) получали из анизола и $SeCl_2$ по методике [36]. Выход 90%, т. пл. 54–55°C (т. пл. 54–55°C [20]).

Диарилселеноксиды (VIа–в) получали окислением диарилселенидов (Va–в) H_2O_2 (*d* 1.145 г/мл) по методике [37].

Дифенилселеноксид (VIа). Выход 86%, т. пл. 110°C (т. пл. 109°C [38]).

Бис(3-метоксифенил)селеноксид (VIб). Выход 61%, т. пл. 131−132°C (осаждали эфиром из хлористого метилена). ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 829 (Se=O). Спектр ЯМР ^{1}H (300 МГц), δ, м. д.: 3.79 с (6H, 2OMe), 6.94 д. д. д (2H, $H^{4,4'}$, $^3J_{HH}$ 7.8, $^4J_{HH}$ 2.7, 1.2 Гц), 7.18 д. т (2H, $H^{6,6'}$, $^3J_{HH}$ 7.8, $^4J_{HH}$ 1.2 Гц), 7.27 д. д (2H, $H^{2,2'}$, ^4J 2.7, 1.2 Гц), 7.32 т (2H, $H^{5,5'}$, $^3J_{HH}$ 7.8 Гц). Найдено, %: C 54.15; H 4.56; Se 25.74. $C_{14}H_{14}O_3Se$. Вычислено, %: C 54.39; H 4.56; Se 25.53.

Бис(4-метоксифенил)селеноксид (VIв). Выход 67%, т. пл. 144°C (т. пл. 144°C [37]).

Взаимодействие селеноксидов селеноксантенона (III) с гептилфениловым эфиром. Смесь 1.5 ммоль селеноксида (III), 1.8 ммоль фенилгептилового эфира и 5 мл раствора P_2O_5–$MeSO_3H$ (1:10) перемешивали при 20°C в течение 5 ч, выдерживали 20 ч без перемешивания, охлаждали ледяной водой и прибавляли по каплям раствор 2 ммоль KPF_6 в 5 мл воды. Смесь перемешивали 30 мин и экстрагировали CH_2Cl_2. Органический слой промывали водным раствором KPF_6 и водой, упаривали до небольшого объема, прибавляли диэтиловый эфир и отделяли осадок гексафторфосфата (IV).

Гексафторфосфат 9-оксо-10-(4-гептилоксифенил)-*9H*-селеноксантения (IVа). Выход 75%, т. пл. 66–68°C. ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 2930, 2856 (C–H), 1668 (C=O), 841, 557 (P–F). Спектр ЯМР ^{1}H, δ, м. д.: 0.86 м (3H, Me), 1.25 м (8H, $4CH_2$), 1.71 м (2H, CH_2), 3.92 м (2H, OCH_2), 6.93 д и 7.49 д (4H, C_6H_4, $^3J_{HH}$ 8.8 Гц), 7.89 м (4H, $H^{2,3,6,7}$), 8.00 м (2H, $H^{4,5}$), 8.61 м (2H, $H^{1,8}$). Спектр ЯМР ^{19}F, δ_F, м. д.: 93.9 д (J_{FP} 672 Гц). Найдено, %: C 52.49; H 4.50; F 18.79. $C_{26}H_{27}O_2Se{\cdot}PF_6$. Вычислено, %: C 52.44; H 4.54; F 19.16.

Гексафторфосфат 2,4-диметил-9-оксо-10-(4-гептилоксифенил)-*9H*-селеноксантения (IVб). Выход 84%, т. пл. 149–153°C. ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 2953, 2928, 2856 (C–H), 1663 (C=O), 841, 557 (P–F). Спектр ЯМР ^{1}H, δ, м. д.: 0.86 м (3H, $\underline{CH_3}CH_2$), 1.25 м (8H, $4CH_2$), 1.69 м (2H, CH_2), 2.53 с и 2.61 с (6H, 2Me), 3.89 м (2H, OCH_2), 6.90 д и 7.45 д (4H, C_6H_4, $^3J_{HH}$ 9.0 Гц), 7.55 д (1H, H^3, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 7.85 м (2H, $H^{6,7}$), 8.17 м (1H, H^5), 8.34 д (1H, H^1, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 8.56 м (1H, H^8). Спектр ЯМР ^{19}F, δ_F, м. д.: 90.5 д (J_{FP} 711 Гц). Найдено, %: F 18.40; Se 12.88. $C_{28}H_{31}O_2Se{\cdot}PF_6$. Вычислено, %: F 18.30; Se 12.68.

Гексафторфосфаты дифенил(4-метоксифенил)селенония, бис(3-метоксифенил)(4-метоксифенил)селенония и трис(4-метоксифенил)селенония (VIIа–в) получали аналогично из 1 ммоль селеноксида (VI) и 1.5 ммоль анизола.

Соединение (VIIа). Выход 77%, т. пл. 131–132°C (осаждали эфиром из хлористого метилена). ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 839, 557 (P–F). Спектр ЯМР ^{1}H (300 МГц), δ, м. д.: 3.85 с (3H, OMe), 7.12 д (2H, $H^{3,5}$, $^3J_{HH}$ 9.0 Гц), 7.49 м (6H, H^{Ar}), 7.64 м (6H, H^{Ar}). Спектр ЯМР ^{19}F, δ_F, м. д.: 89.9 д (J_{FP} 758 Гц). Найдено, %: F 23.48; Se 16.4. $C_{19}H_{17}OSe{\cdot}PF_6$. Вычислено, %: F 23.49; Se 16.3.

Соединение (VIIб). Выход 71%, т. пл. 152–153°C (осаждали эфиром из хлористого метилена). ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 843, 557 (P–F). Спектр ЯМР ^{1}H (300 МГц), δ, м. д.: 3.62 с (6H, 2OMe), 3.69 с (3H, OMe), 6.83 д. д. д (2H, $H^{4',4''}$, $^3J_{HH}$ 8.2, $^4J_{HH}$ 2.0, 0.2 Гц), 6.94 т (2H, $H^{2',2''}$, $^4J_{HH}$ 2.0 Гц), 6.96 д (2H, $H^{3,5}$, $^3J_{HH}$ 9.0 Гц), 7.02 д. д. д (2H, $H^{6',6''}$, $^3J_{HH}$ 8.2, $^4J_{HH}$ 2.0, 0.8 Гц), 7.33 д (2H, $H^{2,6}$, $^3J_{HH}$ 9.0 Гц), 7.35 т (2H, $H^{5',5''}$, $^3J_{HH}$ 8.2 Гц). Спектр ЯМР ^{19}F, δ_F, м. д.: 89.3 д (J_{FP} 757 Гц). Найдено, %: C 46.69; H 3.92; F 21.02; Se 14.47. $C_{21}H_{21}O_3Se{\cdot}PF_6$. Вычислено, %: C 46.24; H 3.85; F 20.90; Se 14.49.

Соединение (VIIв). Выход 53%, т. пл. 60°C (этанол). ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 843, 557 (P–F). Спектр ЯМР ^{1}H (300 МГц), δ, м. д.: 3.86 с (9H, 3OMe), 7.09 д (6H, H^{Ar}, $^3J_{HH}$ 9.0 Гц), 7.42 д (6H, H^{Ar}, $^3J_{HH}$ 9.0 Гц). Спектр ЯМР ^{19}F, δ_F, м. д.: 89.7 д (J_{FP} 771 Гц). Найдено, %: C 45.59; H 3.92; F 21.09; Se 13.91. $C_{21}H_{21}O_3Se{\cdot}PF_6$. Вычислено, %: C 46.24; H 3.85; F 20.90; Se 14.52.

Спектральные исследования выполнены в Центре коллективного пользования Сибирского отделения Российской академии наук.

Список литературы

[1] *Sarker A.M., Lungu A., Mejiritski A., Kaneko Y., Neckers D.C.* // J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2. 1998. P. 2315. DOI: 10.1039/A800469B.

[2] *Akhtar S.R., Crivello J.V., Lee J.L., Smitt M.L.* // Chem. Mater. 1990. Vol. 2. P. 732. DOI: 10.1021/cm00012a027 .

[3] *Gomurashvili Z., Crivello J.V.* // Macromolecules**.** 2002. Vol. 35. P. 2962. DOI: 10.1021/ma0119272.

[4] *Padon K.S., Scranton A.B.* // Recent Res. Devel. Polymer Sci. 1999. Vol. 3. P. 369.

[5] *Crivello J.V.* // J. Polymer Sci. (A). 1999. Vol. 37. P. 4241. DOI: 10.1002/(SICI)1099-0518(19991201)37:23<4241::AID-POLA1>3.0.CO;2-R.

[6] *Crivello J.V., Lam J.H.W.* // J. Polymer Sci. (A). 1996. Vol. 34. P. 3231. DOI:10.1002/pola.1996.873.

[7] *Kurze A., Muller U., Tittes K., Fouassier J.-P., Morlet-Savary F.* // J. Photochem. Photobiol. (A). 1997. Vol. 110. P. 115. DOI: 10.1016/S1010-6030(97)00178-0.

[8] *Hyun L.H., Patit P., Kim J.Y., Kim T.H.* // J. Appl. Polymer Sci. 2007. Vol. 103. P. 3157. DOI: 10.1002/app.24749.

[9] *Yanez C.O., Andrade C.D., Belfield K.D.* // J. Royal Soc. Chem. Chem. Commun. 2009. P. 827. DOI: 10.1039/b815831b.

[10] *Herlihy S.L.* WO 03 072567 // C. A. 2003. Vol. 139. 231972y.

[11] *Herlihy S.L.* WO 03 072568 // C. A. 2003. Vol. 139. 231973z.

[12] *Davidson R.S., Pratt J.* WO 03 002557 // C. A. 2003. Vol. 138. 91475r.

[13] *Taniguchi N., Yokoshima M.* Pat. 102 12286 (1998). Japan // C. A. 1998. Vol. 129. 190509a.

[14] *Шелковников В.В*, *Лоскутов В.А., Васильев Е.В., Шеклеина Н.В., Рябинин В.А., Синяков А.Н.* Изв. АН. Сер. хим. 2011. № 3. С. 548; *Shelkovnikov V.V., Loskutov V.A., Vasil′ev E.V., Shekleina N.V., Ryabinin V.A., Sinyakov A.N.* // Russ. Chem. Bull. Int. Eu. 2011. Vol. 60. N 3. P. 561. DOI: 10.1007/s11172-011-0087-x.

[15] *Мак-Глинн С., Адзуми Т., Киносита М.* Молекулярная спектроскопия триплетного состояния. М.: Мир, 1972. 448 с.; *Лоуер С., Эль-Сайед М.Е.* // Усп. физ. наук. 1972. Т. 108. С. 103.

[16] Возбужденные состояния и фотохимия органических соединений / Под ред. О.Н. Уленикова. Новосибирск: Наука, 1997. 232 с.

[17] *Лоскутов В.А., Шелковников В.В.* // ЖОрХ. 2006. Т. 42. Вып. 2. С. 313; *Loskutov V.A., Shelkovnikov V.V.* // Russ. J. Org. Chem. 2006. Vol. 42. N 2. P. 298. DOI: 10.1134/S107042800212028X.

[18] *Лоскутов В.А., Шелковников В.В.* // ЖОрХ. 2009. Т. 45. Вып. 1. С. 160; *Loskutov V.A., Shelkovnikov V.V.* // Russ. J. Org. Chem. 2009. Vol. 45. N 1. P. 158. DOI: 10.1134/S1070428009010230.

[19] *Jiricka J., Kvis F., Borovicka M.* Pat. 121640 (1967). Czech. // C. A. 1968. Vol. 68. 114438h; *Tsutomu S., Seiki F.* DE 3209706 (1981). Germany // C. A. 1983. Vol. 98. 71934s.

[20] *Potash S., Rozen S.* // Eur. J. Org. Chem. 2013. P. 5574. DOI: 10.1002/ejoc.201.30000694.

[21] *Rheinboldt H.* Meth. Org. Chem. (Houben–Weyl). Vol. 9. S. 916.

[22] *Mullica D.F., Guziec Jr. F.S., Guziec L.J., Grant J.R., Kantz J.A., Farmer* J.M. // J. Mol. Struct. 1999. Vol. 478. P. 235. DOI: 10.1016/S0022-2860(98)00761-3.

[23] *Crivello J.V., Lam J.H.W.* // J. Org. Chem. 1978. Vol. 43. N 15. P. 3055. DOI: 10.1021/jo00409a027.

[24] *Crivello J.V., Lam J.H.W.* // J. Polymer Sci. 1979. Vol. 17. N 4. P. 1047. DOI: 10.1002/pol.1979.170170410.

[25] *Wildi B.S., Taylor S.W., Potratz H.A.* // J. Am. Chem. Soc. 1951. Vol. 73. N 5. P. 1965. DOI: 10.1021/ja01149a017.

[26] *Ishii Y., Iwama Y., Ogawa M.* // Synth. Commun. 1978. Vol. 8. N 2. P. 93. DOI: 10.1080/00397917808062101.

[27] *Iwama Y., Aragi M., Sugiyama M., Matsui R., Ishii Y., Ogawa M.* // Bull. Chem. Soc. Japan. 1981. Vol. 54. N 7. P. 2065. DOI: 10.1246/bcsj.54.2065.

[28] *Ogawa S., Sato S., Masutomi Y., Furukawa N.* // Phosphorus, Sulfur, Silicon. 1992. Vol. 67. P. 99. DOI: 10.1080/10426509208045824.

[29] *Clivo D.L.J., Hua Chong* // Synth. Commun. 2003. Vol. 33. N 11. P. 1951. DOI: 10.1081/SCC-12020210.

[30] *Lesser R., Weiss R.* // Chem. Ber. 1912. Bd 45. S. 1835.

[31] *Erben F., Kleeblatt D., Sonneck M., Hein M., Feist H., Fahrenwaldt Th., Fischer Ch., Matin A., Iqbal J., Plotz M., Tberle J., Langer P.* // Org. Biomol. Chem. 2013. Vol. 11. P. 3963. DOI: 10.1039/c3ob40603b.

[32] *Lesser R., Weiss R.* // Chem. Ber. 1924. Bd 57. S. 1077.

[33] *Kataoka T., Tomimatsu K., Shimazu H., Hori M.* // Chem. Pharm. Bull. 1984. Vol. 32. N 7. P. 2666. DOI: 10.1248/cpb.32.2666.

[34] Синтезы органических препаратов / Под ред. Б.А. Казанского. М.: Издатинлит, 1949. Сб. 2. С. 237.

[35] *Keimatsu S., Yokota K., Satoda I.* // J. Pharm. Soc. Japan. 1933. Vol. 53. P. 994.

[36] *Потапов В.А., Хуриганова О.И., Амосова С.В.* // ЖОрХ. 2009. Т. 45. Вып. 10. С. 1581; *Potapov V.A., Khuriganova O.I., Amosova S.V.* // Russ. J. Org. Chem. 2009. Vol. 45. N 10. P. 1569. DOI: 10.1134/S107042800910025X.

[37] *Gould E.S., McCullough J.D.* // J. Am. Chem. Soc. 1951. Vol. 73. N 7. P. 3196. DOI: 10.1021/ja01151a059.

[38] *Olah G.A., Gupta B.G.B., Narang S.C.* // J. Am. Chem. Soc. 1979. Vol. 101. N 18. P. 5318. DOI: 10.1021/ja00512a034.