

Е. А. Игнатенко<sup>1\*</sup>, А. А. Горбунов<sup>1</sup>, Е. В. Шкляева<sup>2</sup>, Г. Г. Абашев<sup>1</sup>

**НОВЫЕ ТЕТРАТИАФУЛЬВАЛЕНЫ, СОДЕРЖАЩИЕ  
ФРАГМЕНТЫ КАРБАЗОЛА И 1,3,5-ТРИАЗИНА:  
СИНТЕЗ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Синтезированы новые тетрариафульвалены, содержащие фрагменты карбазола и 1,3,5-триазины, которые присоединены к тетрариафульваленовому циклу с помощью мостика S—CH<sub>2</sub>—CH<sub>2</sub>—O. Электрохимические свойства исходных соединений и конечных продуктов исследованы циклической вольтамперометрией. Оптические свойства их растворов изучены методами абсорбционной УФ спектроскопии и флуоресцентной спектроскопии.

**Ключевые слова:** сопряжённый полимер, тетрариафульвален, люминесценция, циклическая вольтамперометрия, электрохимическое окисление.

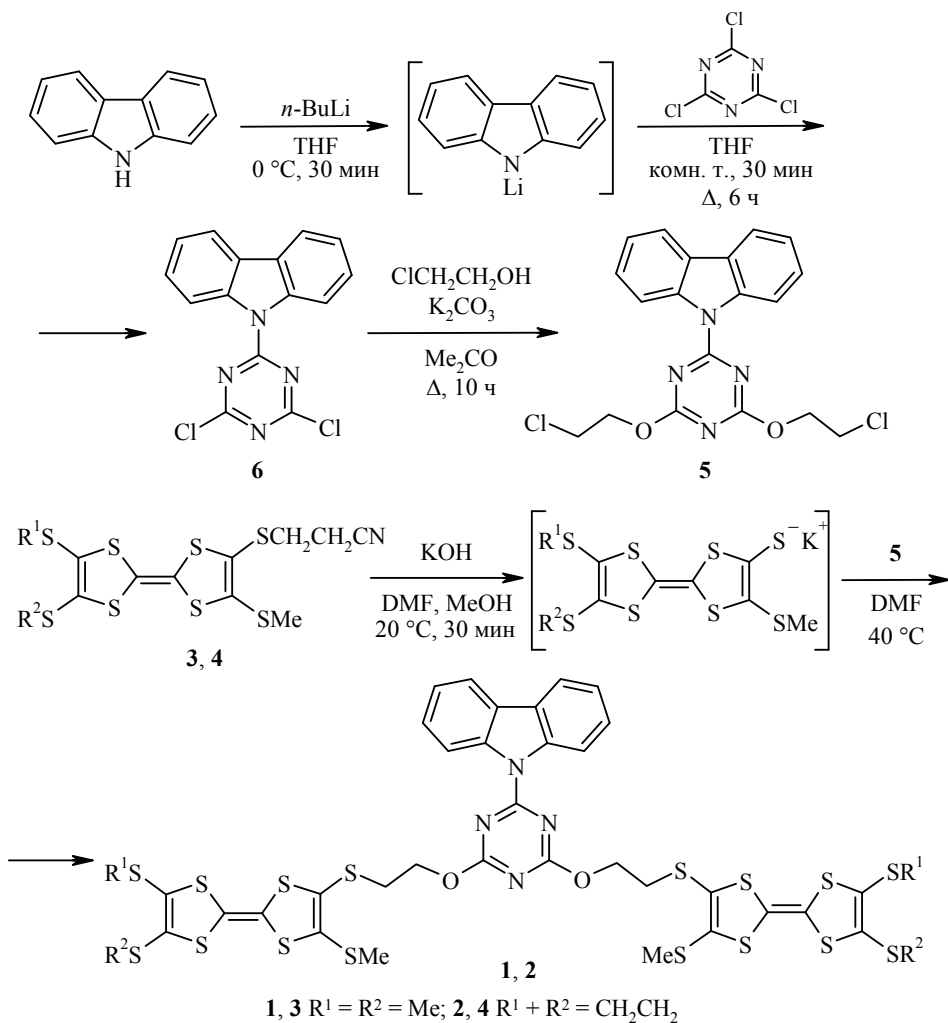
Синтез и исследование электроактивных органических соединений – актуальная проблема современной химии и физики. Особенно интенсивно развивается направление, посвящённое синтезу сопряжённых мономеров и полимеров, состоящих одновременно из электроноизбыточных и электронодефицитных гетероциклических систем [1–2], что обусловлено широкими перспективами их возможного применения, например в органических светодиодах и солнечных батареях [3–7]. Одним из возможных путей придания сопряжённым полимерам новых свойств является включение в состав исходного мономера различных по структуре электроактивных гетероциклических фрагментов, например тетрариафульваленов (ТТФ) [8–14]. Способность ТТФ к обратимому двухэлектронному окислению до катион-радикала и дикатиона при сравнительно низких потенциалах предоставляет возможность создавать на их основе материалы, реагирующие на изменение потенциала среды, а также накапливающие заряд, что позволяет использовать ТТФ при изготовлении хемосенсоров [15–17], аккумуляторов [18], органических полевых транзисторов [19–21].

В данной работе представлен синтез замещённых триазинов **1**, **2**, в положении 2 триазинового кольца которых находится богатый электронами карбазольный заместитель, а в положениях 4 и 6 через 2-сульфанилэтоксильный мостик присоединены тетрариафульваленовые фрагменты. Для выполнения этой задачи нами был использован конвергентный синтетический метод, завершающая стадия которого состояла во взаимодействии предварительно синтезированных производных тетрариафульвалена **3**, **4**, содержащих одну цианоэтильную защитную группу на одном из атомов серы, с [4,6-бис(2-хлорэтокси)-1,3,5-триазин-2-ил]-9*H*-карбазолом (**5**) по методике, разработанной Бекером и сотр. [22] (схема 1).

Для получения необходимого триазина **5** замещением одного атома хлора в цианурхлориде действием карбазолиллития в среде ТТФ был синтезирован 9-(4,6-дихлор-1,3,5-триазин-2-ил)-9*H*-карбазол (**6**) (схема 1). Структура триазина **6** подтверждена данными масс-спектрометрии и элементного анализа, а также дополнительно – данными спектроскопии ЯМР <sup>1</sup>H (все сигналы протонов СН сдвинуты в область слабого поля в среднем на 0.4 м. д. по

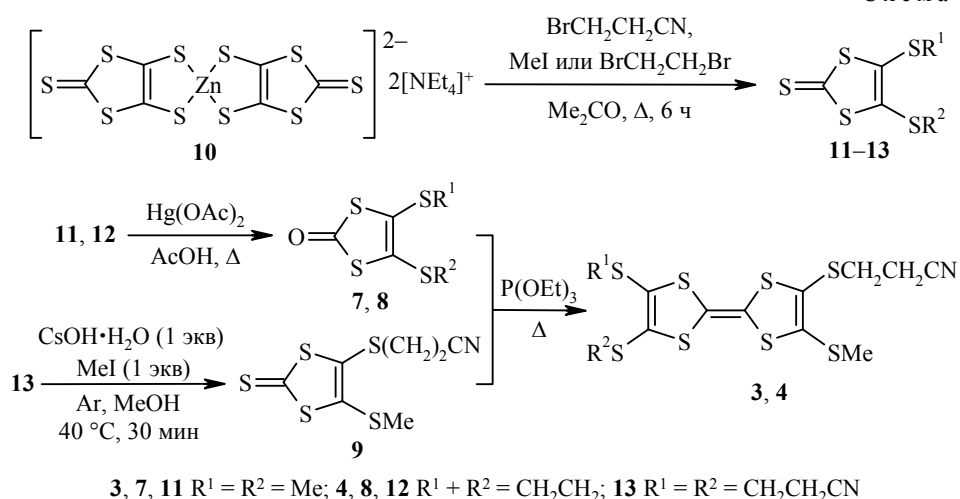
сравнению со спектром незамещённого карбазола). Дальнейшее взаимодействие этого триазина с 2 экв. 2-хлорэтанола при кипячении в ацетоне в присутствии поташа приводило к замещению двух оставшихся атомов хлора и образованию хлорэтоксипроизводного **5**. Взаимодействием триазина **5** с тиолатами калия, образовавшимся *in situ* при отщеплении цианоэтильной группы от соединений **3** и **4**, были получены целевые соединения **1** и **2**.

Схема 1



Вторая группа используемых в реакции исходных соединений – ТТФ **3** [23] и **4** [11, 22, 24] – была получена кросс-сочетанием соответствующих 4,5-дизамещённых 1,3-дитиол-2-онов **7** и **8** [25] с 3-{[5-(метилсульфанил)-2-тиоксо-1,3-дитиол-4-ил]сульфанил}пропионитрилом (**9**) [26] при кипячении в триэтилфосфите [27]. Взаимодействием комплексного дитиолата цинка **10** [28] с необходимым числом эквивалентов соответствующего алкилгалогенида были синтезированы 4,5-дизамещённые 1,3-дитиол-2-тионы **11**, **12** [25, 28] и **13** [29–30], необходимые для получения 1,3-дитиол-2-онов **7** и **8**. Соединение **9** [26] было получено с использованием методики Бекера [22] из 3,3'-[2-тиоксо-1,3-дитиол-4,5-диил]дисульфандиил}дипропионитрила (**13**) замещением защитной цианоэтильной группы на метильную (схема 2).

Схема 2



Таким образом, в результате синтеза были получены соединения **1** и **2**, представляющие собой ансамбли гетероциклов с общей структурой  $D_2AD'$ , ядром которых служит электроноакцепторный триазиновый фрагмент (A), окружённый электронодонорными заместителями, один из которых (карбазол, D') способен электрохимически полимеризоваться, а два других фрагмента ТТФ (D) в процессе электрохимического окисления могут образовывать упорядоченные стопки, формируя таким образом пространственную структуру образующегося полимера.

В табл. 1 представлены данные электрохимических измерений, проведённых для соединений **1–6** методом циклической вольтамперометрии.

Из-за наличия в молекулах соединений **5**, **6** сильного электроноакцепторного триазинового фрагмента, связанного с карбазольной частью молекулы, они демонстрируют очень высокие значения потенциалов окисления  $E_{\text{ox}}$  (рис. 1).

Первый потенциал окисления ( $E_{\text{ox}}^1$ ) соответствует потенциалу образования катион-радикала карбазолия, второй потенциал ( $E_{\text{ox}}^2$ ) – потенциалу образованию дикатиона. Замена атома хлора в соединении **6** на 2-хлорэтоксигруппу приводит к незначительному понижению окислительных потенциалов в соединении **5**. Из-за понижения электронной плотности  $\pi$ -системы карбазола за счёт электроноакцепторного действия триазинового фрагмента протекание электрохимической полимеризации затруднено, поэтому на поверхности рабочего электрода полимерные плёнки не формировались.

Таблица 1

Редокс-потенциалы соединений 1–6

Соединение	$E_{\text{ox}}^1$ , мВ	$E_{\text{ox}}^2$ , мВ	$E_{\text{ox}}^3$ , мВ	$E_{\text{ox}}^4$ , мВ	$E_{\text{red}}^1$ , мВ	$E_{\text{red}}^2$ , мВ
<b>1</b>	706	1129	1455	3032	530	894
<b>2</b>	885	1172	2352	3336	676	936
<b>3</b>	682	1053	–	–	537	834
<b>4</b>	667	1066	–	–	544	922
<b>5</b>	2246	3112	–	–	2300	–
<b>6</b>	2314	3232	–	–	2325	–

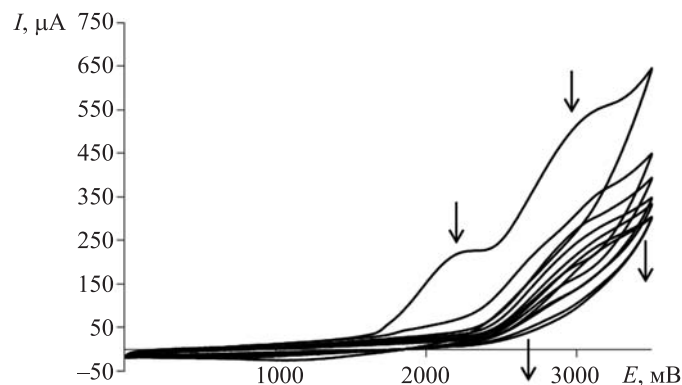


Рис. 1. Цикловольтамперограмма (ЦВА) соединения **5** ( $10^{-3}$  моль/л) в  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , фоновый электролит  $\text{Bu}_4\text{NPF}_6$  (0.1 моль/л), скорость развёртки потенциала 100 мВ/с, 6 циклов

Для соединений **1** и **2** характерно присутствие двух обратимых волн окисления до катион-радикала ( $E_{\text{ox}}^1/E_{\text{red}}^1$ ) и дикатиона ( $E_{\text{ox}}^2/E_{\text{red}}^2$ ), относящихся к окислению-восстановлению тетрагидрофульваленовой части молекулы, что является дополнительным доказательством структуры полученных соединений (рис. 2).

По данным табл. 1 видно, что значения потенциалов окисления-восстановления ТТФ **1**, **2** несколько выше, чем значения таких потенциалов исходных ТТФ **3**, **4**, измеренных в тех же условиях и с использованием того же оборудования. Кроме того, на ЦВА тетрагидрофульваленов **1**, **2** присутствуют два пика необратимого окисления в области высоких значений потенциалов ( $E_{\text{ox}}^3$  и  $E_{\text{red}}^4$ ), относящиеся к окислению карбазольного фрагмента молекулы. При развёртке от цикла к циклу в области до 1300 мВ сила тока возрастает, а при дальнейшем росте потенциала снижается. Роста полимерных плёнок на поверхности рабочего электрода также не наблюдалось.

Оптические свойства всех соединений изучены для их растворов в хлороформе (табл. 2), ширина запрещённой зоны  $E_g$  перехода ВЗМО–НСМО рассчитана на основе значения длины волны красной границы области поглощения  $\lambda_{\text{onset}}$  по формуле  $E_g = 1240/\lambda_{\text{onset}}$ , эВ [31].

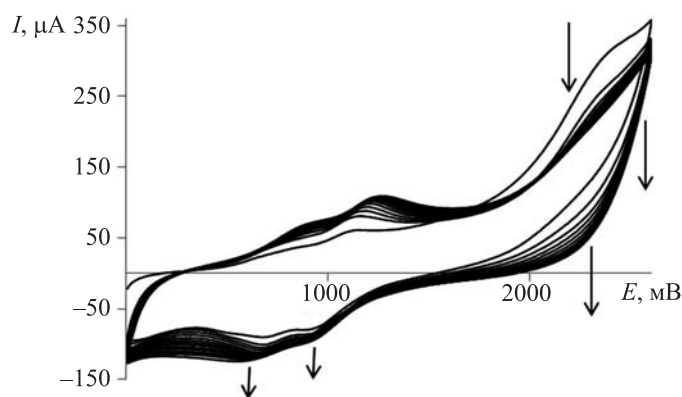


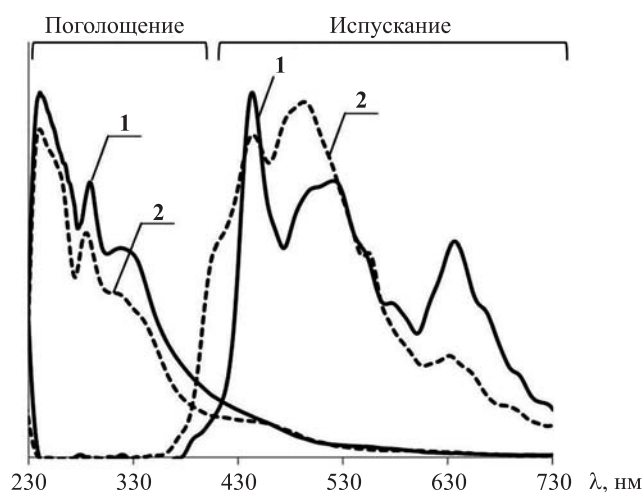
Рис. 2. ЦВА соединения **2** ( $10^{-3}$  моль/л) в  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , фоновый электролит  $\text{Bu}_4\text{NPF}_6$  (0.1 моль/л), скорость развёртки потенциала 100 мВ/с, 12 циклов

Оптические свойства соединений 1–6

Соединение	$\lambda_1^{\text{погл}}$ , нм ( $D$ )	$\lambda_2^{\text{погл}}$ , нм ( $D$ )	$\lambda_3^{\text{погл}}$ , нм ( $D$ )	$\lambda_{\text{onsets}}$ нм	$\lambda_1^{\text{исп}}$ , нм	$\lambda_2^{\text{исп}}$ , нм	$\lambda_3^{\text{исп}}$ , нм	$\Delta$ , нм	$E_g$ , эВ
1	243 (2.1)	290 (2.4)	322 (1.4)	496	445	524	636	123	2.50
2	242 (2.2)	288 (2.3)	314 (1.9)	502	444	496	637	130	2.47
3	252 (2.1)	300 (2.1)	–	389	445	639	–	145	3.18
4	247 (2.0)	294 (1.8)	–	375	451	640	–	157	3.30
5	248 (1.6)	279 (2.5)	310 (2.7)	330	443	–	–	133	3.75
6	250 (1.8)	279 (2.6)	322 (2.9)	360	492	–	–	170	3.44

В УФ спектрах триазинов **6** и **5** наблюдаются три полосы поглощения в области 250–322 нм (длины волн максимумов  $\lambda_1^{\text{погл}}$ ,  $\lambda_2^{\text{погл}}$  и  $\lambda_3^{\text{погл}}$ ), а также один интенсивный пик флуоресценции при 492 и 443 нм, соответственно. Исходные ТТФ **3**, **4** поглощают в области 252–300 нм и имеют два максимума поглощения. В УФ спектрах ТТФ **1**, **2** наблюдаются три полосы поглощения, как и в спектрах поглощения исходных триазинов **5**, **6**. Максимальной оптической плотностью ( $D$ ) обладают растворы исходных триазинов **6**, **5**, а минимальной – растворы исходных ТТФ **3**, **4**. В спектрах флуоресценции ТТФ **1**, **2** наблюдаются три полосы испускания (длины волн максимумов  $\lambda_3^{\text{исп}}$ ,  $\lambda_2^{\text{исп}}$  и  $\lambda_1^{\text{исп}}$ ). При этом полосу испускания  $\lambda_3^{\text{исп}}$  однозначно можно отнести к тетрагидрофульваленовой части соединений **1**, **2** (рис. 3).

По табл. 2 видно, что Стоксов сдвиг ( $\Delta$ ) во всех случаях оказался весьма высоким и примерно одинаковым (~130 нм), за исключением триазина **6**, для которого значение Стоксового сдвига составило 170 нм. Наибольшей шириной запрещённой зоны  $E_g^{\text{опт}}$  (~3.6 эВ) обладают исходные триазины **6**, **5**, в то время как для ТТФ **1**, **2** эта величина составила ~2.5 эВ.

Рис. 3. Спектры поглощения и флуоресценции соединений **1** и **2**

Из результатов проведённого исследования ясно, что триазиновый фрагмент оказывает сильное влияние на электрохимическое поведение полученных систем. Так соединения **1**, **2**, **5**, **6** электрохимически не полимеризуются, хотя содержат карбазол – гетероцикл, присутствие которого в структуре соединения практически всегда приводит к его полимеризации. Кроме того, наличие триазинового ядра в структуре полученных соединений повлияло на то, что тетратиафульваленовые фрагменты окисляются при несвойственных им высоких значениях потенциалов. Очень высокие значения потенциалов окисления карбазольного цикла ( $E_{\text{ox}}^3$  и  $E_{\text{ox}}^4$ , табл. 1) также могут быть объяснены присутствием электроноакцепторного триазинового цикла,

С другой стороны, весьма низкие значения ширины запрещённой зоны ( $E_g$ ) полученных в работе ТТФ-замещённых триазинов **1** и **2** (~ 2.5 эВ) делает эти соединения перспективными для использования в органической электронике. Так, в упомянутой выше работе [3] описан синтез новых эффективных испускающих голубой свет эмиттеров, построенных на основе замещённого 1,3,5-триазина, который обладает сходным электронным строением ( $D_2AD'$ ), где в качестве донорных компонентов использованы тиенил- и трифениламиногруппы. Ширина запрещённой зоны ( $E_g$ ) для этих соединений составила в среднем 2.8 эВ. Используя эти соединения как эмиссионный слой, авторы сконструировали и испытали светоизлучающие устройства. Известны дендримерные триазиновые соединения, содержащие ароматические разветвленные структуры. Полученные экспериментально для них значения ширины запрещённой зоны также близки к значениям  $E_g$  полученных нами соединений и составляют ~3 эВ [32].

В результате нашего исследования разработан метод получения новых донорно-акцепторных сопряжённых гетероциклических систем, представляющих потенциальный интерес в качестве материалов для изготовления устройств молекулярной электроники. Синтезировано с высокими выходами два не описанных в литературе разветвлённых 1,3,5-триазина с электронным строением  $D_2AD'$ , содержащих одновременно карбазольный и два тетратиафульваленовых фрагмента. Изучено их электрохимическое окисление и оптические свойства. На основании экспериментально определённых значений длины волны красной границы области поглощения УФ спектра рассчитана ширина запрещённой зоны для каждого из полученных в процессе работы соединений.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

УФ спектры записаны на спектрофотометре СФ-2000, длина кюветы 10 мм, растворитель – сухой хлороформ, концентрация  $10^{-5}$  М. Спектры флуоресценции записаны на спектрофлуориметре Shimadzu RF-5301. Длина волны источника возбуждения 220 нм, размер кюветы 10×10 мм, растворитель – сухой хлороформ, концентрация  $10^{-5}$  М. Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  зарегистрированы на приборе Varian Mercury plus300 (300 МГц) в  $\text{CDCl}_3$ , внутренний стандарт – ГМДС (0.037 м. д.). Масс-спектры записаны на хромато-масс-спектрометре Agilent GC 6890N MSD 5975B, ЭУ, 70 эВ. Элементный анализ осуществлён на приборе CHNS-932 фирмы LECO Corporation, содержание хлора определено методом Шёнигера. Ход реакций, а также чистоту синтезированных соединений контролировали методом ТСХ (Silufol, Kavalier). Разделение смесей, очистка целевых продуктов проведена на колонке, заполненной силикагелем (Lancaster, Silica gel 60, 0.060–0.2 mm), диаметр колонки и высота слоя силикагеля определялись количеством очищаемого вещества.

Электрохимические измерения проведены в растворах хлористого метилена (0.001 моль/л) при комнатной температуре с использованием гексафторфосфата тетрабутиламмония (0.1 моль/л) в качестве фонового электролита. Циклические вольтамперограммы записаны на потенциостате Р-8 с электрохимическим датчиком Модуль ЕМ-04 в трёхэлектродной электрохимической ячейке со стеклоуглеродным рабочим электродом, платиновым вспомогательным электродом и хлорсеребряным электродом сравнения. Скорость развёртки потенциала 100 мВ/с.

**3-{{4',5,5'-Трис(метилсульфанил)тетрагидрофульвален-4-ил}сульфанил}пропионитрил (3).** Раствор смеси 1.00 г (4.76 ммоль) соединения **7** и 1.39 г (5.24 ммоль) соединения **9** в 10 мл триэтилфосфита деаэрируют аргоном в течение 15 мин при комнатной температуре, после чего кипятят в течение 1 ч, затем охлаждают и избыток триэтилфосфита удаляют упариванием. Остаток хроматографируют на колонке, заполненной силикагелем. Смесью  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ -гексан, 1:1, первоначально отделяют получаемые в процессе гомодимеризации симметричные ТТФ, после их отделения хлористым метиленом вымывают целевой продукт реакции – ТТФ **3**. Дополнительная очистка соединения **3** осуществляется перекристаллизацией из ацетона. Выход 0.50 г (25%). Красный мелкокристаллический порошок. Т. пл. 107–109 °С (т. пл. 102–104 °С (толуол-гексан) [23]). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 2.42 (6H, с, 2SCH<sub>3</sub>); 2.53 (3H, с, SCH<sub>3</sub>); 2.69 (2H, т,  $J = 7.2$ , SCH<sub>2</sub>); 3.02 (2H, т,  $J = 7.2$ , CH<sub>2</sub>CN) (соответствует литературным данным [23]).

**9-(4,6-Дихлор-1,3,5-триазин-2-ил)-9H-карбазол (6).** К предварительно деаэрированному аргоном и охлаждённому до 0 °С раствору 1.42 г (8.5 ммоль) карбазола в 50 мл сухого ТТФ прикапывают 4.3 мл 2 М раствора (8.6 ммоль) *n*-BuLi в гексане. Смесь перемешивают в течение 30 мин при той же температуре, затем добавляют к деаэрированному аргоном раствору 1.56 г (8.5 ммоль) 2,4,6-трихлор-1,3,5-триазина в 50 мл сухого ТТФ. Полученную реакционную смесь выдерживают при комнатной температуре в течение 30 мин, а затем кипятят в течение 6 ч, по окончании нагревания фильтруют, фильтрат упаривают, остаток промывают 50 мл ацетона. Выход 2.26 г (85%). Мелкокристаллический бесцветный порошок. Т. пл. 255–256 °С. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 7.45 (2H, т. д,  $J = 7.2$ ,  $J = 0.9$ , H-3,6); 7.53 (2H, т. д,  $J = 7.5$ ,  $J = 1.5$ , H-2,7); 7.99 (2H, д. д,  $J = 7.5$ ,  $J = 0.9$ , H-1,8); 8.85 (2H, д,  $J = 8.4$ , H-4,5). Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 316 (65), 315 (25), 314 [M]<sup>+</sup> (100), 192 (17), 166 (20), 140 (18). Найдено, %: С 57.29; Н 2.58; Cl 22.18; N 17.20. C<sub>15</sub>H<sub>8</sub>Cl<sub>2</sub>N<sub>4</sub>. Вычислено, %: С 57.17; Н 2.56; Cl 22.50; N 17.78.

**9-[4,6-Бис(2-хлорэтокси)-1,3,5-триазин-2-ил]-9H-карбазол (5).** Смесь 0.75 г (2.6 ммоль) триазина **6**, 4.20 г (52.0 ммоль) 2-хлорэтанола и 1.81 г (13.0 ммоль) поташа в 50 мл ацетона кипятят в течение 10 ч, затем фильтруют, фильтрат упаривают, остаток хроматографируют на колонке (элюент  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ -*n*-гексан, 1:1). Выход 0.83 г (80%). Мелкокристаллический бесцветный порошок. Т. пл. 172–173 °С. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 3.93 (4H, т,  $J = 6.3$ , 2CH<sub>2</sub>Cl); 4.80 (4H, т,  $J = 6.0$ , 2OCH<sub>2</sub>); 7.40 (2H, т. д,  $J = 7.2$ ,  $J = 0.9$ , H-3,6); 7.51 (2H, т. д,  $J = 7.2$ ,  $J = 1.5$ , H-2,7); 8.01 (2H, д. д,  $J = 7.2$ ,  $J = 1.2$ , H-1,8); 8.89 (2H, д,  $J = 8.4$ , H-4,5). Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 404 (65), 403 (24), 402 [M]<sup>+</sup> (100), 167 (25), 166 (15), 133 (16), 131 (50), 69 (11), 63 (23). Найдено, %: С 56.34; Н 3.97; Cl 17.48; N 14.19. C<sub>19</sub>H<sub>16</sub>Cl<sub>2</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: С 56.59; Н 4.00; Cl 17.58; N 13.89.

**9-[4,6-Бис({2-[4',5,5'-трис(метилсульфанил)тетрагидрофульвален-4-ил}сульфанил}-этокси)-1,3,5-триазин-2-ил]-9H-карбазол (1).** К деаэрированному аргоном раствору 0.17 г (0.4 ммоль) соединения **3** в 30 мл сухого ДМФА добавляют раствор 0.02 г (0.4 ммоль) КОН в 3 мл сухого MeOH, затем перемешивают в течение 30 мин при 20 °С и добавляют раствор 0.08 г (0.2 ммоль) триазина **5** в ДМФА, перемешивают смесь в течение 6 ч при 40 °С. Реакционную смесь разбавляют водой и экстрагируют  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ . Экстракт упаривают и очищают колоночной хроматографией (элюент  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ -гексан, 2:1). Выход 0.31 г (71%). Коричневый мелкокристаллический порошок. Т. пл. 163–164 °С. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 2.49 (6H, с, 2SCH<sub>3</sub>); 2.52 (6H, с, 2SCH<sub>3</sub>); 2.53 (6H, с, 2SCH<sub>3</sub>); 3.29 (4H, т,  $J = 6.3$ , 2SCH<sub>2</sub>); 4.79 (4H, т,  $J = 6.0$ ,

2OCH<sub>2</sub>); 7.19 (2H, т, *J* = 7.5, H-3,6); 7.44 (2H, т, *J* = 7.2, H-2,7); 7.58 (2H, д, *J* = 6.6, H-1,8); 8.17 (2H, д, *J* = 8.9, H-4,5). Найдено, %: С 41.01; Н 3.15; N 5.21; S 47.62. С<sub>37</sub>Н<sub>34</sub>Н<sub>4</sub>О<sub>2</sub>С<sub>16</sub>. Вычислено, %: С 41.16; Н 3.17; N 5.19; S 47.52.

**9-[4,6-Бис(2-{[2-(5,6-дигидро[1,3]дитиоло[4,5-*b*][1,4]дитиин-2-илиден)-5-(метилсульфанил)-1,3-дитиол-4-ил]сульфанил}этокси)-1,3,5-триазин-2-ил]-9H-карбазол (2).** К деаэрированному аргонном раствору 0.13 г (0.3 ммоль) соединения **4** в 20 мл сухого ДМФА добавляют раствор 0.015 г (0.3 ммоль) КОН в 2 мл сухого MeOH, перемешивают в течение 30 мин при 20 °С, затем добавляют по каплям раствор 0.06 г (0.15 ммоль) триазина **5** в ДМФА, перемешивают в течение 10 ч при 40 °С, затем разбавляют водой и экстрагируют CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Экстракт упаривают и очищают хроматографически (элюент CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>–гексан, 2:1). Выход 0.19 г (60%). Коричневый мелкокристаллический порошок. Т. пл. 155–156 °С. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. (*J*, Гц): 2.46 (6H, с, 2SCH<sub>3</sub>); 3.29 (8H, т, *J* = 3.6, 2SCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>S); 3.89 (4H, т, *J* = 6.3, 2SCH<sub>2</sub>); 4.80 (4H, т, *J* = 6.0, 2OCH<sub>2</sub>); 7.18 (2H, т, *J* = 7.5, H-3,6); 7.43 (2H, т, *J* = 7.2, H-2,7); 7.68 (2H, д, *J* = 6.1, H-1,8); 8.18 (2H, д, *J* = 9.1, H-4,5). Найдено, %: С 41.22; Н 3.19; N 5.22; S 47.54. С<sub>37</sub>Н<sub>30</sub>Н<sub>4</sub>О<sub>2</sub>С<sub>16</sub>. Вычислено, %: С 41.31; Н 2.81; N 5.21; S 47.69.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 14-03-00341А и 14-03-96003).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Leriche, F. Piron, E. Ripaud, P. Frère, M. Allain, J. Roncali, *Tetrahedron Lett.*, **50**, 5673 (2009).
2. M. Ak, L. Toppare, *Mater. Chem. Phys.*, **114**, 789 (2009).
3. J. Liu, M.-Y. Teng, X.-P. Zhang, K. Wang, C.-H. Li, Y.-X. Zheng, X.-Z. You, *Org. Electron.*, **13**, 2177 (2012).
4. J. Zhuang, W. Su, W. Li, Y. Zhou, Q. Shen, M. Zhou, *Org. Electron.*, **13**, 2210 (2012).
5. E. Orselli, J. Maunoury, D. Bascour, J.-P. Catinat, *Org. Electron.*, **13**, 1506 (2012).
6. A. Luechai, N. Pootrakulchote, T. Kengthanomma, P. Vanalabhpatana, P. Thamyongkit, *J. Organomet. Chem.*, **753**, 27 (2014).
7. J. Liu, K. Wang, X. Zhang, C. Li, X. You, *Tetrahedron*, **69**, 190 (2013).
8. G. Lai, Y. Liu, M. Li, Y. Shen, *Front. Chem. Eng. China*, **3**, 192 (2009).
9. G. A. Abashev, E. V. Shklyayeva, R. V. Syutkin, K. Yu. Lebedev, I. V. Osorgina, V. A. Romanova, A. Yu. Bushueva, *Solid State Sci.*, **10**, 1710 (2008).
10. Г. Г. Абашев, К. Ю. Лебедев, И. В. Осоргина, Е. В. Шкляева, *Журн. орган. химии*, **42**, 1880 (2006). [*Rus. J. Org. Chem.*, **42**, 1873 (2006).]
11. Г. Г. Абашев, А. Ю. Бушуева, К. Ю. Лебедев, Е. В. Шкляева, *Журн. орган. химии*, **43**, 129 (2007). [*Rus. J. Org. Chem.*, **43**, 135 (2007).]
12. Е. В. Шкляева, Е. А. Игнатенко, Г. Г. Абашев, *Журн. орган. химии*, **49**, 1394 (2013). [*Rus. J. Org. Chem.*, **49**, 1379 (2013).]
13. Е. А. Ignatenko, P. A. Slepukhin, E. V. Shklyayeva, G. G. Abashev, *Mendeleev Commun.*, **22**, 145 (2012).
14. X.-C. Zhang, C.-Y. Wang, G.-Q. Lai, L. Zhang, Y.-J. Shen, *Polym. Bull.*, **66**, 893 (2011).
15. S. Liang, Y. Zhao, A. Adronov, *J. Am. Chem. Soc.*, **136**, 970 (2014).
16. K. A. Nielsen, *Tetrahedron Lett.*, **53**, 5616 (2012).
17. J. Xiong, L. Sun, Y. Liao, G.-N. Li, J.-L. Zuo, X.-Z. You, *Tetrahedron Lett.*, **52**, 6157 (2011).
18. M. Kato, D. Ogi, M. Yao, Y. Misaki, *Chem. Lett.*, **42**, 1556 (2013).
19. T. Marszalek, A. Nosal, R. Pfattner, J. Jung, S. Kotarba, M. Mas-Torrent, B. Krause, J. Veciana, M. Gazicki-Lipman, C. Crickert, G. Schmidt, C. Rovira, J. Ulanski, *Org. Electron.*, **13**, 121 (2012).
20. H. Jiang, X. Yang, E. Wang, Y. Fu, Y. Liu, H. Li, Z. Cui, Y. Liu, W. Hu, *Synth. Met.*, **161**, 136 (2011).



21. N. Borjigin, J.-I. Nishida, S. Tokito, L. Theogarajan, Y. Yamashita, *Synth. Met.*, **160**, 2323 (2010).
22. K. B. Simonsen, N. Svenstrup, J. Lau, O. Simonsen, M. Mørk, G. J. Kristensen, J. Becher, *Synthesis*, 407 (1996).
23. J. Lau, O. Simonsen, J. Becher, *Synthesis*, 521 (1995).
24. Г. Г. Абашев, Е. В. Шкляева, А. Г. Тенишев, А. Б. Шереметев, в кн. *Перспективы развития естественных наук в высшей школе (Труды междунар. науч. конф.)*, Изд-во Перм. гос. ун-та, Пермь, 2001, т. 1, с. 15.
25. K. Hartke, T. Kissel, J. Quante, R. Matusch, *Chem. Ber.*, **113**, 1898 (1980).
26. J. Becher, J. Lau, P. Leriche, P. Mørk, N. Svenstrup, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 2715 (1994).
27. N. Svenstrup, R. M. Rasmussen, T. K. Hansen, J. Becher, *Synthesis*, 809 (1994).
28. G. Steimecke, H.-J. Sieler, R. Kirmse, E. Hoyer, *Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem.*, **7**, 49 (1979).
29. Г. Г. Абашев, В. С. Русских, Е. В. Шкляева, в кн. *Электроника органических материалов (ЭЛОРМА-90), Тез. Всесоюз. конф.*, Домбай, 1990, с. 81.
30. Г. Г. Абашев, В. С. Русских, Е. В. Шкляева, В. И. Владыкин, *Журн. орган. хим.*, **31**, 1705 (1995).
31. H. Meng, J. Zheng, A. J. Lovinger, B.-C. Wang, P. G. Van Patten, Z. Bao, *Chem. Mater.*, **15**, 1778 (2003).
32. C. K. Kim, E. S. Song, H. J. Kim, C. Park, Y. C. Kim, J. K. Kim, J. W. Yu, C. Kim, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **44**, 254 (2006).

<sup>1</sup> *Институт технической химии УрО РАН,  
ул. Академика Королёва, 3, Пермь 614013, Россия  
e-mail: info@itich.perm.ru*

*Поступило 3.04.2014*

<sup>2</sup> *Естественнонаучный институт Пермского  
государственного научно-исследовательского университета,  
ул. Генкеля, 4, Пермь 614990, Россия  
e-mail: gabashev@psu.ru*