

УДК 547.415.1:541.623

НОВЫЕ ПУТИ СОЗДАНИЯ ХЕМОСЕНСОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**¹Федянина А.Ю., ¹Толпыгин И.Е., ¹Старикова А.А., ¹Николаева О.Г.,
¹Левитина И.В., ²Цуканов А.В., ²Дубоносов А.Д., ¹Брень В.А.***¹Научно-исследовательский институт физической и органической химии ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: tolpygin@ipoc.sfedu.ru;**²ФГБУН «Южный научный центр Российской академии наук», Ростов-на-Дону, e-mail: aled@ipoc.sfedu.ru.*

В результате проведенных синтетических исследований разработаны способы получения новых алкилгалогенидных производных, содержащих антраценовый флуорофор. Взаимодействием антрацен-9-карбальдегида с рядом алифатических и ароматических аминов и последующим восстановлением полученных азотинов синтезированы N-(антрацен-9-илметил)-N-R-амины. Ацилированием хлорацетилхлоридом в безводном толуоле аминов, содержащих 2-метилпропильный, S-(-)-1-фенилэтильный, 2-метокси- и 3,5-дихлорфенильный заместители, получен ряд N-(антрацен-9-илметил)-N-R-2-хлорацетамидов. При использовании в качестве ацилирующего агента 3-хлорпропионилхлорида синтезированы соответствующие N-(антрацен-9-илметил)-N-R-3-хлорпропионамиды. Хлорированием аминов, содержащих 2-гидроксиэтильную или 3-гидроксипропильную цепочки при помощи SOCl_2 в сухом хлороформе получены гидрохлориды N-(антрацен-9-илметил)замещенных N-(2-хлорэтил)- и N-(3-хлорпропил)аминов. Исследование строения синтезированных соединений показало их полное соответствие предложенным структурам.

Ключевые слова: синтез, хемосенсорные материалы, алкилгалогениды, антрацен, амины, полимеры

NEW SYNTHETIC ROUTES FOR DESIGN OF CHEMOSENSOR MATERIALS**¹Fedyanina A.Y., ¹Tolpygin I.E., ¹Starikova A.A., ¹Nikolaeva O.G.,
¹Levitina I.V., ²Tsukanov A.V., ²Dubonosov A.D., ¹Bren V.A.***¹Institute of Physical and Organic Chemistry, Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: tolpygin@ipoc.sfedu.ru;**²Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, e-mail: aled@ipoc.sfedu.ru.*

Synthetic methods of preparation of new alkyl halide derivatives containing anthracene fluorophore have been elaborated. N-(Anthracene-9-ylmethyl)-N-R-amines were obtained by interaction of anthracene-9-carbaldehyde with various aliphatic and aromatic amines with subsequent reduction of the resulting Schiff bases. Series of N-(anthracene-9-ylmethyl)-N-R-2-chloroacetamides were synthesized by acylation of amines containing 2-methylpropyl-, S-(-)-1-phenylethyl-, 2-methoxy- and 3,5-dichlorophenyl substituents with chloroacetyl chloride in anhydrous toluene. 3-Chloropropionylchloride was used as acylating agent for the synthesis of corresponding N-(anthracene-9-ylmethyl)-N-R-3-chloropropionamides. Chlorination of amines containing 2-hydroxyethyl- or 3-hydroxypropyl groups with SOCl_2 in dry chloroform leads to hydrochlorides of N-(anthracene-9-ylmethyl) substituted N-(2-chloroethyl)- and N-(3-chloropropyl)amines. Investigation of structure of synthesized compounds revealed their complete correspondence to proposed structures.

Keywords: synthesis, chemosensor materials, alkyl halogenides, anthracene, amines, polymers

Ионактивные системы (хромогенные, флуорогенные и фотохромные) получили широкое распространение как точный инструмент для исследования состава абиотических и биотических объектов. Основными областями применения сенсорных материалов в настоящее время являются контроль качества пищевых продуктов, диагностика некоторых заболеваний, определение чистоты лекарственных препаратов и мониторинг окружающей среды. Наиболее распространенными и чувствительными методами исследования свойств сенсорных систем являются УФ-спектроскопия и флуоресцентный анализ. Оптические методы хемосенсорного анализа имеют ряд преимуществ – высокую чувствительность, применимость в широком диапазоне концентраций исследуемых веществ, простоту исполнения и др.

Поскольку важную роль в определении направленности сенсоров и их чувствительности играет тип соединения рецептора и ионофора, одним из важнейших направлений современной хемосенсорики является разработка методов направленной модификации полимерных материалов за счет ковалентного связывания ионактивных молекул с органической подложкой с учетом влияния различных структурных факторов на сенсорные свойства получаемых материалов [4, 5, 7].

Фотодинамические сенсорные системы, включающие в состав рецепторного фрагмента разнообразные азотсодержащие структуры, могут быть использованы не только для обнаружения катионов, но и в качестве высокоэффективных сенсоров на биологически важные анионы моно- и полиосновных кислот [2, 3, 6, 8].

Материалы и методы исследования

Спектры ЯМР ¹H получены на спектрометре Varian Unity 300 (300 МГц) в CDCl₃ или DMSO-*d*₆. В качестве внутреннего стандарта использовались остаточные сигналы CHCl₃ (δ 7,25 м.д.) и (CH₃)₂SO (δ 2,50 м.д.). Электронные спектры поглощения сняты на спектрофотометре Varian Cary 100, спектры люминесценции измерены на спектрофлуориметре Varian Cary Eclipse. Температуры плавления определяли в стеклянных капиллярах на приборе ПТП (М). Полноту протекания реакций и индивидуальность полученных соединений контролировали с помощью ТСХ (пластины Silufol U254, элюент – CHCl₃, проявление парами йода во влажной камере).

Общая методика синтеза аминов (4а-е). Растворили 30 ммоль антрацен-9-карбальдегида в 70 мл бутанола, добавляли 0,05 мл ледяной уксусной кислоты и 33 ммоль амина (2б-е) [или 60 ммоль амина (2а)]. Смесь кипятили 4 ч, упаривали на роторном испарителе и охлаждали. Остаток перекристаллизовывали из подходящего растворителя.

К раствору 20 ммоль полученного азометина (3а-е) в этаноле или смеси этанол–ДМФА (4:1) при нагревании (50–60 °С) и перемешивании постепенно добавляли 50 ммоль боргидрида натрия. Смесь перемешивали при данной температуре 1 ч, разбавляли 200 мл горячей воды и избыток боргидрида разлагали добавлением разбавленной уксусной кислоты. Суспензию охлаждали, осадок отфильтровывали и перекристаллизовывали из подходящего растворителя.

Амин (4а) выделяли из реакционной смеси экстракцией хлороформом. Хлороформ отгоняли, полученное густое масло тщательно растирали с 30 мл конц. соляной кислоты. Через 2–3 ч осадок гидрохлорида амина (4а·HCl) отфильтровывали и промывали сухим ацетоном (2×10 мл).

(Антрацен-9-илметил)(2-метилпропил)амин гидрохлорид (4а·HCl). Выход 73%. Т.пл. 212–213 °С (разл.). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 1,32 д (6H, *J* 6,6 Гц, 2CH₃); 2,24–2,40 м (1H, CH); 3,97–4,11 м (2H, CH₂); 4,92 д (2H, *J* 6,0 Гц, CH₂); 7,39–7,54 м (4H, H_{Ar}); 8,05 д (2H, *J* 8,40 Гц, H_{Ar}); 8,44 д (2H, *J* 8,4 Гц, H_{Ar}); 8,60 с (1H, H_{Ar}); 9,80 уш.с (1H, N + H₂).

(S)-(-)-N-(Антрацен-9-илметил)(1-фенилэтил)амин (4б). Выход 78%. Т.пл. 76–77 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 1,42 д (3H, *J* 7,4 Гц, CH₃); 4,10 д.д (1H, *J*₁ 4,8 Гц, *J*₂ 14,8 Гц, CH); 4,53 д.д (2H, *J*₁ 13,4 Гц, *J*₂ 26,8 Гц, CH₂); 7,18–7,60 м (9H, H_{Ar}); 7,90–8,20 м (5 H, H_{Ar}, NH); 8,40 с (1H, H_{Ar}).

N-(Антрацен-9-илметил)-2-метоксианилин (4в). Выход 88%. Т.пл. 183–184 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 3,86 с (3H, CH₃); 3,90 ш.с. (1H, NH); 5,10 д (2H, *J* 5,6 Гц, CH₂); 7,10–7,21 м (2H, H_{Ar}); 7,26–7,40 м (2H, H_{Ar}); 7,42–7,60 м (4H, H_{Ar}); 8,02 д (2H, *J* 8,8 Гц, H_{Ar}); 8,41 д (2H, *J* 8,8 Гц, H_{Ar}); 8,64 с (1H, H_{Ar}).

N-(Антрацен-9-илметил)-3,5-дихлоранилин (4г). Выход 94%. Т.пл. 201–202 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 4,05 ш.с. (1H, NH); 5,12 д (2H, *J* 5,4 Гц, CH₂); 7,15–7,40 м (3H, H_{Ar}); 7,46–7,62 м (4H, H_{Ar}); 8,04 д (2H, *J* 8,4 Гц, H_{Ar}); 8,42 д (2H, *J* 8,2 Гц, H_{Ar}); 8,58 с (1H, H_{Ar}).

2-[(Антрацен-9-илметил)амино]этан-1-ол (4д). Выход 82%. Т.пл. 118–119 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 2,88 т (2H, *J* 5,4 Гц, CH₂); 3,57 т (2H, *J* 4,8 Гц, CH₂); 4,29 ш.с (1H, NH); 4,65 с (2H, CH₂);

7,40–7,56 м (4H, H_{Ar}); 8,01 д (2H, *J* 8,1 Гц, H_{Ar}); 8,38 д (2H, *J* 8,1 Гц, H_{Ar}); 8,42 с (1H, H_{Ar}).

3-[(Антрацен-9-илметил)амино]пропан-1-ол (4е). Выход 72%. Т.пл. 83–84 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 1,78 кв (2H, CH₂); 3,14 т (2H, *J* 5,7 Гц, CH₂); 3,84 т (2H, *J* 5,7 Гц, CH₂); 4,76 с (2H, CH₂); 7,42–7,61 м (4H, H_{Ar}); 8,02 д (2H, *J* 8,4 Гц, H_{Ar}); 8,31 д (2H, *J* 8,4 Гц, H_{Ar}); 8,43 с (1H, H_{Ar}).

Общая методика синтеза амидов (6а-г) и (8б, г). Растворили 10 ммоль соответствующего амина (4а-г) в 50 мл сухого толуола, добавляли сухой пиридин [20 ммоль для аминов (4б-е) или 40 ммоль для амина (4а)] и при интенсивном перемешивании добавляли раствор 1,25 ммоль свежеперегнанного хлорацетилхлорида (или 3-хлорпропионилхлорида) в 10 мл сухого толуола. Реакционную смесь кипятили в течение 2–3 ч (6в, г и 8г) или перемешивали при комнатной температуре 10 ч (6а, б и 8б). Охлаждали до 5 °С, выпавший осадок гидрохлорида пиридина отфильтровывали, промывали на фильтре толуолом (2×5 мл). Фильтрат промывают водой (2×20 мл) и упаривали на роторном испарителе, остаток после охлаждения перекристаллизовывали из подходящего растворителя.

N-(Антрацен-9-илметил)-N-(2-метилпропил)-2-хлорацетамид (6а). Выход 68%. Т.пл. 61–62 °С (гексан-бензол – 4:1). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 1,40 д (6H, *J* 6,2 Гц, 2CH₃); 2,20–2,41 м (1H, CH); 3,70–4,02 м (4H, 2CH₂); 5,24 с (2H, CH₂); 7,44–7,64 м (4H, H_{Ar}); 8,03 д (2H, *J* 8,6 Гц, H_{Ar}); 8,40 д (2H, *J* 8,6 Гц, H_{Ar}); 8,55 с (1H, H_{Ar}).

(S)-(-)-N-(Антрацен-9-илметил)-N-(1-фенилэтил)-2-хлорацетамид (6б). Выход 75%. Т.пл. 64–65 °С (гексан-бензол – 3:1). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 1,45 д (3H, *J* 7,0 Гц, CH₃); 3,80 с (2H, CH₂); 4,02 д.д (1H, *J*₁ 5,0 Гц, *J*₂ 16,0 Гц, CH); 5,21 д (2H, *J* 7,2 Гц, CH₂); 7,18–7,60 м (9H, H_{Ar}); 7,97–8,20 м (3H, H_{Ar}); 8,33 д (2H, *J* 8,8 Гц, H_{Ar}).

N-(Антрацен-9-илметил)-N-(2-метоксифенил)-2-хлорацетамид (6в). Выход 81%. Т.пл. 161–162 °С (толуол). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 3,72 с (2H, CH₂); 3,94 с (3H, CH₃); 5,92 с (2H, CH₂); 7,12–7,25 м (2H, H_{Ar}); 7,30–7,44 м (2H, H_{Ar}); 7,48–7,66 м (4H, H_{Ar}); 8,05 д (2H, *J* 8,4 Гц, H_{Ar}); 8,37 д (2H, *J* 8,4 Гц, H_{Ar}); 8,51 с (1H, H_{Ar}).

N-(Антрацен-9-илметил)-N-(3,5-дихлорфенил)-2-хлорацетамид (6г). Выход 84%. Т.пл. 177–178 °С (тетрагидрофуран). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 3,97 с (2H, CH₂); 6,05 с (2H, CH₂); 7,11–7,41 м (3H, H_{Ar}); 7,46–7,62 м (4H, H_{Ar}); 8,03 д (2H, *J* 8,8 Гц, H_{Ar}); 8,46 д (2H, *J* 8,8 Гц, H_{Ar}); 8,60 с (1H, H_{Ar}).

(S)-(-)-N-(Антрацен-9-илметил)-N-(1-фенилэтил)-3-хлорпропионамид (8б). Выход 70%. Т.пл. 56–57 °С (гексан-бензол – 4:1). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 1,42 д (3H, *J* 6,8 Гц, CH₃); 2,91 д (2H, *J* 6,8 Гц, CH₂); 3,42 д (2H, *J* 6,8 Гц, CH₂); 3,94 д.д (1H, *J*₁ 5,0 Гц, *J*₂ 15,0 Гц, CH); 5,04 д (2H, *J* 6,8 Гц, CH₂); 7,14–7,55 м (9H, H_{Ar}); 7,92–8,17 м (3H, H_{Ar}); 8,40 д (2H, *J* 8,6 Гц, H_{Ar}).

N-(Антрацен-9-илметил)-N-(3,5-дихлорфенил)-3-хлорпропионамид (8г). Выход 77%. Т.пл. 172–173 °С (бутанол). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (DMSO-*d*₆): 2,96 д (2H, *J* 7,0 Гц, CH₂); 3,55 д (2H, *J* 7,0 Гц, CH₂); 5,88 с (2H, CH₂); 7,16–7,40 м (3H, H_{Ar}); 7,50–7,65 м (4H, H_{Ar}); 8,05 д (2H, *J* 8,6 Гц, H_{Ar}); 8,42 д (2H, *J* 8,6 Гц, H_{Ar}); 8,52 с (1H, H_{Ar}).

N-(Антрацен-9-илметил)-N-(2-хлорэтил)амин гидрохлорид (9д·НСl). Растворяли при нагревании до 40–45 °С 2,51 г (10 ммоль) спирта (4д) в 50 мл сухого хлороформа и осторожно при перемешивании добавляли 0,9 мл (12 ммоль) свежеперегнанного SOCl_2 . Полученную смесь кипятили в течение 5–6 ч, упаривали до 1/3 объема и охлаждали. Выпавший осадок гидрохлорида (9д·НСl) отфильтровывали, промывали на фильтре этоксиэтаном (2×5 мл), сушили и кристаллизовали из бутанола. Выход 2,70 г (90%). Т.пл. 222–223 °С (бутанол). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. (DMSO- d_6): 3,44–3,63 м (2H, CH_2); 4,00 т (2H, J 6,2 Гц, CH_2); 5,26 ш. с (2H, CH_2); 7,50–7,73 м (4H, H_{Ar}); 8,12 д (2H, J 8,6 Гц, H_{Ar}); 8,55 д (2H, J 8,6 Гц, H_{Ar}); 8,71 с (1H, H_{Ar}); 9,85 ш. с (2H, N^+H_2).

Основание (9д) выделяли обработкой 10 ммоль гидрохлорида (9д·НСl) 30 мл 10%-ного раствора Na_2CO_3 . Суспензию тщательно размешивали и экстрагировали основание (9д) хлороформом (3×15 мл), полученный экстракт сушили безводным Na_2SO_4 и отгоняли растворитель на роторном испарителе при пониженном давлении. Выход 90%. Полученное вещество являлось хроматографически чистым и могло быть использовано в дальнейших реакциях без дополнительной очистки.

N-(Антрацен-9-илметил)-N-(3-хлорпропил)амин гидрохлорид (9е·НСl). Получали аналогично соединению (4д) хлорированием спирта (4е). Выход 82%. Т.пл. 200–201 °С (бутанол). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. (DMSO- d_6): 1,90–2,05 м (2H, CH_2); 3,44 т (2H, J 6,2 Гц, CH_2); 4,14–4,25 м (2H, CH_2); 5,18 с (2H, CH_2); 7,38–7,55 м (4H, H_{Ar}); 8,07 д (2H, J 8,6 Гц, H_{Ar}); 8,42 д (2H, J 8,6 Гц, H_{Ar}); 8,57 с (1H, H_{Ar}); 10,11 ш. с (2H, N^+H_2). Основание (9е) также может быть получено по методике, описанной для соединения (9д).

2-[N-(Антрацен-9-илметил)-N-(метил)амино]этан-1-ол гидроидид (10·HI). Растворяли 2,70 г (10 ммоль) амина (4д) в 70 мл сухого ацетона, добавляли 1,3 мл (20 ммоль) метилиодида, тщательно размешивали и оставляли стоять до следующего дня. Затем раствор кипятили в течение 3–4 ч, упаривали до объема 15–20 мл и охлаждали. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали охлажденным ацетоном (2×5 мл), сушили и перекристаллизовывали из 2-пропанола или бутанола. Выход 74%. Т.пл. 229–230 °С (2-пропанол). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. (DMSO- d_6): 2,72 с (3H, J 5,2 Гц, CH_3); 3,41–3,68 м (2H, CH_2); 3,86–4,12 м (2H, CH_2); 5,32–5,66 м (3H, CH_2 , OH); 7,52–7,76 м (4H, H_{Ar}); 8,15 д (2H, J 8,8 Гц, H_{Ar}); 8,56 д (2H, J 8,8 Гц, H_{Ar}); 8,76 с (1H, H_{Ar}); 10,30 ш. с (1H, N^+H).

Основание (10). Растворяли 10 ммоль гидроидида (10·HI) в 10 мл ДМФА и добавляли к полученному раствору избыток конц. раствора аммиака (~30–40 мл), тщательно размешивали и через 30 мин выпавший осадок основания (10) отфильтровывали, промывали водой (3×20 мл) и сушили при 60–65 °С в течение 5–6 ч. Выход 83%.

N-(Антрацен-9-илметил)-N-(2-хлорэтил)-N-метиламин гидрохлорид (11·НСl). Метод А. Получали алкилированием основания (9д) по методике синтеза метильного производного (10·HI) с дальнейшим переводом гидроидида в гидрохлорид. Выход 82%. Т.пл. 183–184 °С (бутанол). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. (DMSO- d_6): 2,68 д (3H, CH_3); 3,68–3,95 м (2H, CH_2); 4,10–4,30 м (2H, CH_2); 5,36–5,52 м (2H, CH_2);

7,50–7,73 м (4H, H_{Ar}); 8,13 д (2H, J 8,7 Гц, H_{Ar}); 8,62 д (2H, J 8,7 Гц, H_{Ar}); 8,74 с (1H, H_{Ar}); 10,95 ш. с (1H, N^+H).

Метод Б. Основание (10) хлорировали по методике синтеза гидрохлорида (9д·НСl). Выход 89%. Полученное соединение согласно физико-химическим и спектральным данным идентично полученному по методу А.

Результаты исследования и их обсуждение

Ранее нами было показано, что использование различных галогеналкильных систем, содержащих азотный донорный центр и антраценовый флуорофор в качестве агентов для модификации поли(1-винилимидазола), позволяет создавать эффективные флуорогенные и хромогенные хемосенсорные материалы для определения таких анионов, как F^- , AcO^- [1].

С целью изучения влияния длины алкильной цепочки, структуры рецепторного узла и заместителей при азотном центре на изменение ионохромных свойств (направленности и селективности) полимерных хемосенсоров синтезирован ряд новых (антрацен-9-илметил)содержащих синтонов.

Разработанные методики получения N-(антрацен-9-илметил)замещенных аминов были распространены на 2-метилпропан-1-амин, S(-)-1-фенилэтан-1-амин, 2-метоксианилин, 3,5-дихлоранилин, 2-аминоэтанол и 3-аминопропан-1-ол.

Взаимодействием данных аминов (2а-е) с антрацен-9-карбальдегидом (1) была синтезирована серия азометинов (3а-е), которые подвергались восстановлению с применением NaBH_4 (схема 1). Восстановление сопровождается появлением в ЯМР ^1H спектрах сигналов протонов метиленовой (непосредственно связанной с антраценовым фрагментом) и NH-группы, а также исчезновением сигнала $\text{CH}=\text{O}$ -фрагмента.

Полученные дизамещенные амины (4а-е) были подвергнуты дальнейшей модификации. Так, взаимодействием соединений (4а-г) с хлорангидридом хлоруксусной кислоты (5) получались хлорацетамиды (6а-г) (схема 2).

Согласно данным ЯМР ^1H спектроскопии ацилирование приводит к исчезновению сигналов NH-групп и появлению сигнала протонов CH_2Cl -фрагмента.

Для изучения влияния расстояния между полимерной основой и ионактивным фрагментом на хемосенсорные свойства амидных производных реакцией аминов (4б, г) с 3-хлорпропионилхлоридом (7) были синтезированы 3-хлорпропиониламиды (8б, г).

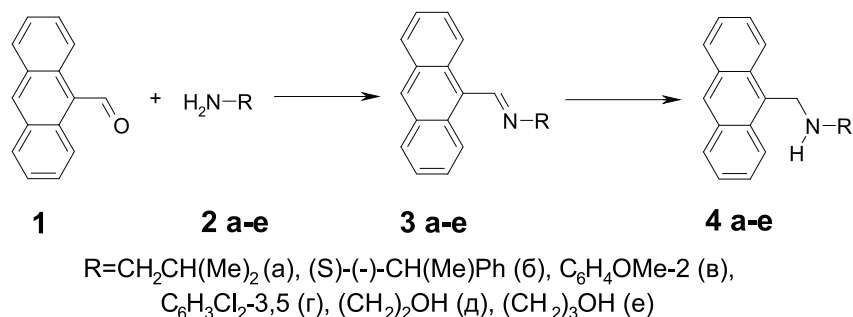


Схема 1

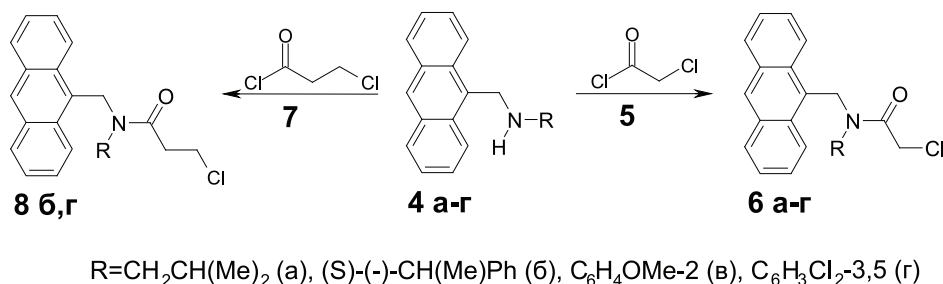


Схема 2

В ходе проведенных исследований разработаны методики синтеза оригинальных алкилхлоридов (**8д, е, 11**), которые являются важными синтонами при выполнении работ по направленной модификации полимеров. Полученные ранее спирты (**4д, е**) подвергались хлорированию под действием избытка хлористого тионила при кипячении в хлороформе в течение 3–4 ч. Конеч-

ные продукты выпадают из реакционной массы в виде гидрохлоридов. Метильное производное (**11**) было синтезировано как непосредственным алкилированием хлорэтиламина (**9д**), так и из аминспирта (**10**) (с последующим хлорированием) (схема 3). В качестве растворителей для хлорирования также могут быть использованы безводные бензол или толуол.

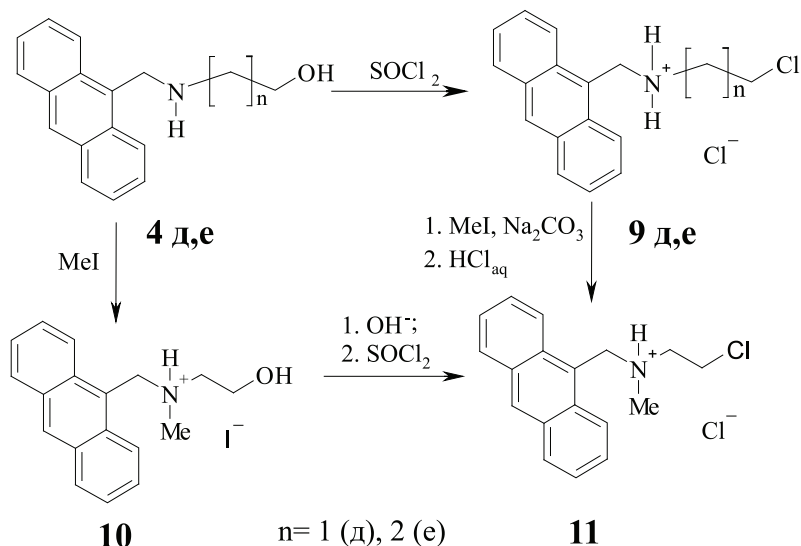


Схема 3

Таким образом, разработаны методы синтеза, получен и охарактеризован ряд ценных прекурсоров – N-(антрацен-9-ил)производных амидов (ацетамидов и 3-пропионамидов) и ω-хлоралкиламинов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (проект № 14.A18.21.0803).

Список литературы

1. Брень В.А. Высокмолекулярные хемосенсоры на основе поли(1-винилимидазола) для обнаружения анионов / В.А. Брень, И.Е. Толпыгин, Ю.В. Ревинский, А.В. Цуканов, А.Д. Дубоносков // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 9 (часть 3). – С. 703–706.
2. Du B. Novel chemosensory materials based on polyfluorenes with 2-(2'-pyridyl)benzimidazole and 5-methyl-3-(pyridin-2-yl)-1,2,4-triazole groups in the side chain / B. Du, R. Liu, Y. Zhang, W. Yang, W. Sun, M. Sun, J. Peng, Y. Cao // *Polymer*. – 2007. – Vol. 48, № 5. – P. 1245–1254.
3. Ho H.-A. Optical sensors based on hybrid aptamer/conjugated polymer complexes / H.-A. Ho, M. Boissinot, M. Leclerc // *Патент Канады № 2430910*. 2004.
4. Hu J. Responsive polymers for detection and sensing applications: current status and future developments / J. Hu, S. Liu // *Macromolecules*. – 2010. – Vol. 43, № 20. – P. 8315–8330.
5. Ojeda C.B. Recent development in optical chemical sensors coupling with flow injection analysis / C. B. Ojeda, F.S.B. Rojas // *Sensors*. – 2006. – Vol. 6, № 10. – P. 1245–1307.
6. Park J.-S. Liposome fusion induced by pH-sensitive copolymer: Poly(4-vinylpyridine-co-N,N'-diethylaminoethyl methacrylate) / J.-S. Park, Y.-B. Lim, Y.-M. Kwon, B. Jeong, Y.H. Choi, S.W. Kim // *J. Polymer Science Part A: Polymer Chem.* – 1999. – Vol. 37, № 14. – P. 2305–2309.
7. Steed J.W. Core concepts in supramolecular chemistry and nanochemistry / J.W. Steed, D.R. Turner, K.J. Wallace. New York: John Wiley & Sons, 2007. – 307 p.
8. Welterlich I. Conjugated polymer with benzimidazolylpyridine ligands in the side chain: metal ion coordination and coordinative self-assembly into fluorescent

ultrathin films / I. Welterlich, B. Tieke // *Macromolecules*. – 2011. – Vol. 44, № 11. – P. 4194–4203.

References

1. Bren V.A., Tolpygin I.E., Revinskiy Y.V., Tsukanov A.V., Dubonosov A.D. *Fundamental research*, 2012, no 9 (part 3), pp. 703–706.
2. Du B., Liu R., Zhang Y., Yang W., Sun W., Sun M. Peng J., Cao Y. *Polymer*, 2007, vol. 48, no 5, pp. 1245–1254.
3. Ho H.-A., Boissinot M., Leclerc M. *Patent Canada*, № 2430910. 2004.
4. Hu J., Liu S., *Macromolecules*, 2010, vol. 43, no 20, pp. 8315–8330.
5. Ojeda C. B., Rojas F.S.B. *Sensors*, 2006, vol. 6, no 10, pp. 1245–1307.
6. Park J.-S., Lim Y.-B., Kwon Y.-M., Jeong B., Choi Y.H., Kim S.W. *J. Polymer Science Part A: Polymer Chem.*, 1999, vol. 37, № 14, pp. 2305–2309.
7. Steed J.W., Turner D.R., Wallace K.J. *Core concepts in supramolecular chemistry and nanochemistry*, New York: John Wiley & Sons, 2007. 307 p.
8. Welterlich I., Tieke B. *Macromolecules*, 2011, vol. 44, no 11, pp. 4194–4203.

Рецензенты:

Стариков А.Г., д.х.н., ведущий научный сотрудник ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону;
 Михайлов И.Е., д.х.н., профессор, зав. отделом ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону.
 Работа поступила в редакцию 28.11.2012.