

УДК 547.415.1:541.623

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ПОЛИ(1-ВИНИЛИМИДАЗОЛЬНЫХ) ИОНОХРОМОВ

¹Толпыгин И.Е., ¹Федянина А.Ю., ¹Старикова А.А., ¹Николаева О.Г., ²Левитина И.В.,
¹Плужникова С.Ю., ¹Муханов Е.Л., ³Дубонос 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;

²Химический факультет, ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет»,
Ростов-на-Дону, e-mail: dubon@ipoc.sfedu.ru;

³ФГБУН «Южный научный центр Российской академии наук»,
Ростов-на-Дону, e-mail: aled@ipoc.sfedu.ru

Проведены синтез и исследование новых заряженных полимерных систем на основе поли(1-винилимидазола), содержащих различные по структуре заместители. Модификация полимерной матрицы осуществлена с использованием новых алкилгалогенидных реагентов – N-(антрацен-9-илметил)-2-хлор-N-R-ацетамидов, N-(антрацен-9-илметил)-3-хлор-N-R-пропионамидов, N-(антрацен-9-илметил)-N-(2-хлорэтил)амин и N-(антрацен-9-илметил)-N-(3-хлорпропил)амин. Изучение строения синтезированных полимерных систем физико-химическими методами показало их соответствие предложенным структурам. В ходе спектральных исследований установлено, что полученные материалы обладают слабой флуоресценцией в ацетонитрильных растворах и проявляют хемосенсорную активность по отношению как к катионам, так и анионам. Наиболее эффективным оказывается взаимодействие с катионами Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} и анионами F^- , AcO^- , сопровождающееся в зависимости от структуры сенсора разгоранием или тушением флуоресценции. Проведено исследование зависимости сенсорных свойств от количества вводимых в структуру фрагментов. Установлено, что наиболее селективные и эффективные сенсоры на анионы могут быть получены при кватернизации всех пиридиновых атомов азота в поли(1-винилимидазольной) матрице.

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

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF NEW POLY(1-VYNILIMIDAZOLE) IONOCROMES

¹Tolpygin I.E., ¹Fedyanina A.Y., ¹Starikova A.A., ¹Nikolaeva O.G., ²Levitina I.V.,
¹Pluzhnikova S.Y., ¹Mukhanov E.L., ³Dubonosov A.D., ¹Bren V.A.

¹Research Institute of Physical and Organic Chemistry, Southern Federal University,
Rostov-on-Don, e-mail: tolpygin@ipoc.sfedu.ru;

²Department of Chemistry, Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: dubon@ipoc.sfedu.ru;

³Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, e-mail: aled@ipoc.sfedu.ru

Novel charged polymeric poly(1-vinylimidazole) based systems containing various substituents were synthesized and investigated. Modification of polymeric matrix was conducted using new alkyl halogenides – N-(anthracene-9-ylmethyl)-2-chloro-N-R-acetamides, N-(anthracene-9-ylmethyl)-3-chloro-N-R-propionamides, N-(anthracene-9-ylmethyl)-N-(2-chloroethyl)amine and N-(anthracene-9-ylmethyl)-N-(3-chloropropyl)amine. All synthesized polymeric systems correspond to proposed structures. According to spectral researches synthesized materials reveal weak fluorescence in acetonitrile and chemosensor activity towards cations and anions. Interaction with Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} and F^- , AcO^- is found to be most effective and is accompanied by substantial changes of fluorescence intensity. Study of dependence of sensor properties from the quantity of anthracene containing fragments shows that the most selective and effective anion sensors were obtained by quaternization of all pyridine nitrogen atoms in poly(1-vinylimidazole) matrix.

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

Синтез новых сигнальных систем для эффективного и селективного определения ионов и получение наноматериалов на оптически прозрачных полимерных подложках при помощи ковалентного связывания полученных молекул в поверхностном слое полимера является основной задачей данного исследования [2–9]. Потребность в системах, контролирующей химический состав окружающей среды, диктуется необходимостью постоянного мониторинга химического состава (анионного, катионного и молекулярного) гидросферы, литосферы, атмосферы. Одно из возможных направле-

ний решения этой проблемы связано с использованием наноматериалов, содержащих сигнальные органические молекулы, взаимодействие которых с субстратом генерирует электромагнитный сигнал, регистрируемый визуально или с применением современных физико-химических методов контроля оптических свойств материалов.

Создание эффективной фотодинамической сенсорной системы основывается на тщательном подборе составляющих его частей. В первую очередь – рецептора, отвечающего за селективное распознавание аналита. Во вторую – флуорофора (или,

в общем случае, сигнального фрагмента), преобразующего сигнал химического (физического) взаимодействия в оптический или электрический сигнал. Фотодинамические сенсорные системы, содержащие в составе рецепторного фрагмента разнообразные гетероциклические производные, могут быть использованы не только для обнаружения катионов, но и, как показывают последние исследования, в качестве эффективных сенсоров на биологически важные анионы органических кислот.

Целью проводимых работ является синтез и исследование новых ионактивных материалов, содержащих привитые фрагменты, в структуру которых входит как флуорофор, так и дополнительный координационный центр.

Материалы и методы исследования

Спектры ЯМР ^1H получены на спектрометре Varian Unity 300 (300 МГц) в $\text{DMSO}-d_6$. В качестве внутреннего стандарта использовались остаточные сигналы $(\text{CH}_3)_2\text{SO}$ (δ 2,50 м.д.). Электронные спектры поглощения сняты на спектрофотометре Varian Cary 100, спектры люминесценции измерены на спектрофлуориметре Varian Cary Eclipse. Колебательные спектры сняты на приборе Varian Excalibur 3100 FT-IR. 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 – $\text{CHCl}_3/\text{EtOH}$, $v/v = 5/1$, проявление парама йода во влажной камере).

Поли(1-винил)имидазол (1) получен по методу, описанному в работе [1].

Общая методика получения кватернизованных полимеров (7–11, 13, 17–19). Нагревали смесь 1 г поли(1-винил)имидазола, 100 мл 1-бутанола и 5 ммоль (10 или 2,5 ммоль) соответствующего алкилгалогенида (2–6, 12, 14–16) в течение 10–12 ч (для 2–6, 12) и 30–35 ч (для 14–16). По окончании реакции растворитель выпаривали на роторном испарителе в вакууме водоструйного насоса до 1/4 объема (7–11, 13) или досуха (17–19). При получении ацетамидных (7–9, 13) и пропионамидных (10, 11) производных остаток разбавляли 50 мл ацетона, тщательно размешивали и кипятили полученную суспензию 15–20 мин. Смесь охлаждали и через ~30 мин осадок отфильтровывали, тщательно промывали на фильтре ацетоном, измельчали и сушили при 100 °С.

В случае солей (17–19) густое масло, полученное после отгонки растворителя, обрабатывали толуолом (~40–50 °С, 3×25 мл), переносили в вакуум-экссикатор и сушили в вакууме над P_2O_5 до кристаллизации (3–4 дня).

Поли(3-{2-[(антрацен-9-илметил)(S(-)-1-фенилэтил)амино]-2-оксоэтил}-1-винилимидазолий хлорид)-поли(1-винилимидазол) (7). Выход 71%. $T_{\text{пл}}$ 112–114 °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 1,80–3,10 м {(9H) $_n$, (CH $_3$) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 4,40–5,30 м [(3H) $_n$, (CH) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 5,50–6,00 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 6,60–10,00 м [(20H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли(3-{2-[(антрацен-9-илметил)(2-метокси-фенил)амино]-2-оксоэтил}-1-винилимидазолий хлорид)-поли(1-винилимидазол) (8). Выход 77%. $T_{\text{пл}}$ 154–156 °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 2,00–3,30 м {(6H) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 4,60–5,50 м [(5H) $_n$, (OCH $_3$) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 5,60–6,10 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 7,00–9,90 м [(19H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли(3-{2-[(антрацен-9-илметил)(3,5-дихлор-фенил)амино]-2-оксоэтил}-1-винилимидазолий хлорид)-поли(1-винилимидазол) (9a). Выход 84%. $T_{\text{пл}}$ 124–125 °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 1,60–3,20 м {(12H) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 4,30–5,00 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 5,40–6,10 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 6,60–9,60 м [(24H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли(3-{2-[(антрацен-9-илметил)(3,5-дихлор-фенил)амино]-2-оксоэтил}-1-винилимидазолий хлорид)-поли(1-винилимидазол) (9b). Выход 80%. $T_{\text{пл}}$ 167–168 °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 1,70–3,10 м {(6H) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 4,30–5,40 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 5,60–6,50 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 6,80–10,20 м [(18H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли(3-{2-[(антрацен-9-илметил)(3,5-дихлор-фенил)амино]-2-оксоэтил}-1-винилимидазолий хлорид) (9в). Выход 88%. $T_{\text{пл}}$ 190–191 °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 2,40–3,40 м {(3H) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 4,70–5,30 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 5,50–6,10 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 7,20–9,30 м [(15H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли(3-{3-[(антрацен-9-илметил)(S(-)-1-фенилэтил)амино]-3-оксопропил}-1-винилимидазолий хлорид) (10). Выход 88%. $T_{\text{пл}}$ 184–185 °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 2,00–3,60 м {(11H) $_n$, (CH $_3$) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 4,10–5,40 м [(3H) $_n$, (CH) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 5,60–6,50 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 6,80–9,80 м [(20H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли(3-{3-[(антрацен-9-илметил)(3,5-дихлор-фенил)амино]-3-оксопропил}-1-винилимидазолий хлорид) (11). Выход 88%. $T_{\text{пл}}$ 161–162 °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 1,80–2,90 м {(6H) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 3,10–3,50 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 4,20–4,80 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 5,40–6,00 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 6,50–9,60 м [(18H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли{3-[2-оксо-2-(хинолин-8-иламино)этил]-1-винилимидазолий хлорид)-поли(1-винилимидазол) (13). Выход 75%. $T_{\text{пл}}$ 172–173 °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 2,00–3,60 м {(6H) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 4,80–6,60 м [(4H) $_n$, (CH $_2$) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 7,20–9,80 м [(21H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли(3-{2-[(антрацен-9-илметил)амино]этил}-1-винилимидазолий хлорид)-поли(1-винилимидазол) (17). Выход 78%. $T_{\text{пл}} > 220$ °С (разл.). ИК спектр, ν , см $^{-1}$: 3310, 3240, 1600, 1495, 1410, 1240, 1155. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 1,60–2,60 м {(6H) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 3,30–4,20 м [(4H) $_n$, (CH $_2$) $_n$]; 5,60–6,40 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 6,70–9,40 м [(15H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

Поли(3-{2-[(антрацен-9-илметил)(метил)амино]этил}-1-винилимидазолий хлорид)-поли(1-винилимидазол) (18). Выход 64%. $T_{\text{пл}} > 150$ °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 2,00–5,70 м {(13H) $_n$, (CH $_3$) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$ }, 5,70–6,60 м [(2H) $_n$, (CH $_2$) $_n$], 6,90–9,40 м [(15H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

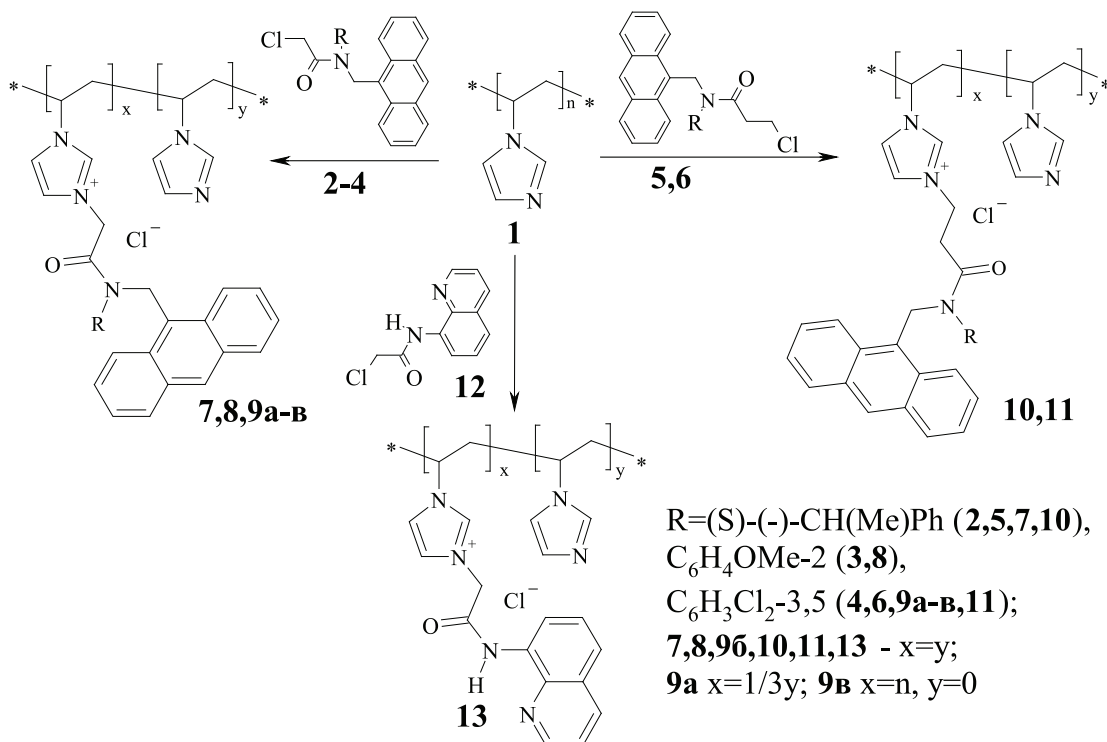
Поли(3-{3-[(антрацен-9-илметил)амино]пропил}-1-винилимидазолий хлорид)-поли(1-винилимидазол) (19). Выход 60%. $T_{\text{пл}} > 170$ °С (разл.). Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 1,70–6,50 м {(15H) $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$, [(CH $_2$) $_2$] $_n$, (CH $_2$) $_n$, (NH) $_n$ }, 6,70–9,00 м [(15H) $_n$, (H $_{Ar}$) $_n$].

**Результаты исследования
и их обсуждение**

С целью исследования возможности использования поли(1-винилимидазолиевых) материалов, содержащих антраценовый фрагмент, в качестве эффективных сенсоров на катионы и анионы, а также изучения влияния структуры рецепторного фрагмента на ионоактивные свойства были синтезированы полимерные материалы с исполь-

зованием серии новых алкилгалогенидных фрагментов [1].

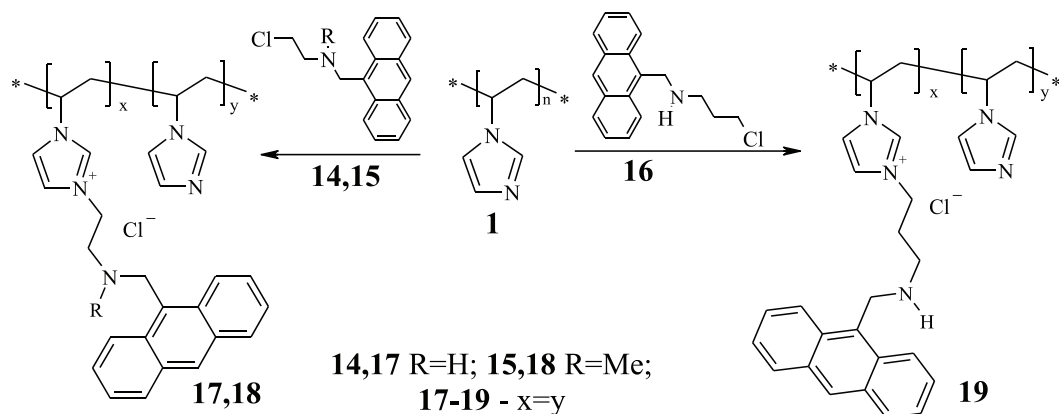
Так, кватернизацией пиридиновых атомов азота, входящих в состав матрицы, при взаимодействии с алкилгалогенидами различной структуры, такими как N-(антрацен-9-илметил)-N-R¹-2-хлорацетамиды (2-4) и N-(антрацен-9-илметил)-N-R¹-3-хлорпропионамиды (5, 6), был получен ряд поливинилимидазольных ионохромов (7, 8, 9а-в, 10, 11).



В данном случае взаимодействие протекает в течение 10–12 ч при кипячении реагентов в среде 1-бутанола и в соотношении реагентов (полимер/алкилгалогенид), необходимом для участия в кватернизации половины пиридиновых атомов азота ($x = y$). При использовании ацетамида (4) для количественной оценки влияния соотношения свободных имидазолиевых фрагментов к кватернизованным на хемосенсорные свойства были получены материалы с соотношением фрагментов $x = 1/3y$ (9а) и $x = n, y = 0$ (9в). В качестве кватернизирующего соединения использовали также 2-хлор-N-(хинолин-8-ил)ацетамид (12). В ЯМР ¹H спектрах всех синтезированных полимерных амидов проявляются характеристические сигналы – группа мультиплетов в области 1,60–3,00 м.д., характеризующих (CH–CH₂)_n-полимерный фрагмент, и уширенные полосы от CH₂-групп (амидной и заместителей при атоме азота). На основании количественных соотношений между сигналами протонов полимерного

алифатического фрагмента и CH₂-амидных групп установлено, что все полученные соединения соответствуют заявленным структурам.

С применением N-R-N-(антрацен-9-илметил)-N-(2-хлорэтил)амина (14, 15) и N-(антрацен-9-илметил)-N-(3-хлорпропил)амина (16) в качестве алкилирующих агентов получены заряженные полимеры (17–19). В отличие от полученных соответствующих полимерных амидов (7–13) при синтезе алкиламиноалкильных производных поли(1-винилимидазола) (17–19) значительно увеличивается время реакции – до 30–35 ч, что обусловлено, прежде всего, меньшей активностью хлора в производных (14–16). Дополнительные сложности при синтезе данных производных связаны с выделением и очисткой конечных продуктов. После удаления растворителя в вакууме полученные полимеры выделяются в виде густых гигроскопических масел, постепенно кристаллизующихся при стоянии в вакуум-эксикаторе над P₂O₅.



Согласно данным ЯМР ^1H спектроскопии имидазолиевые соли (**17–19**) также полностью соответствуют заявленным структурам и количественному соотношению фрагментов. По данным электронной спектроскопии полимеры (**7–11**, **17–19**) обладают флуоресценцией «классического» антраценового типа – три полосы с $\lambda_{\text{макс}}$ 420–423 нм, в случае хинолинового производного (**13**) наблюдается флуоресценция с одиночным максимумом в области $\lambda_{\text{макс}}$ 510 нм.

Хемосенсорная активность производных (**7–11**, **13**, **17–19**) исследовалась в растворах (c $5 \cdot 10^{-6}$ моль/л) путем сравнения спектров флуоресценции до и после добавления соответствующих катионов (Zn^{2+} ,

Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+}) и анионов (AcO^- , CN^- , NO_3^- , F^- , Cl^-) (рисунок). Изучение хемосенсорной активности полученных полимерных хемосенсоров (**7–11**, **13**, **17–19**) по отношению к катионам выявило существенную зависимость структуры сенсора и его направленности (селективности). Так, в случае амидных производных (**7–11**, **13**) наиболее селективной оказывается реакция на ионы Ni^{2+} [максимальное тушение флуоресценции в 10 раз происходит в случае соединений (**7**, **13**)]. В то же время для аминных систем (**17–19**) характерным является взаимодействие с катионами Zn^{2+} и Cd^{2+} , приводящее к значительному разгоранию флуоресценции (таблица).

Относительное изменение интенсивности флуоресценции соединений (**4–11**, **13**) (c $5,0 \cdot 10^{-6}$ моль/л) в MeCN при добавлении катионов металлов (c $2,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

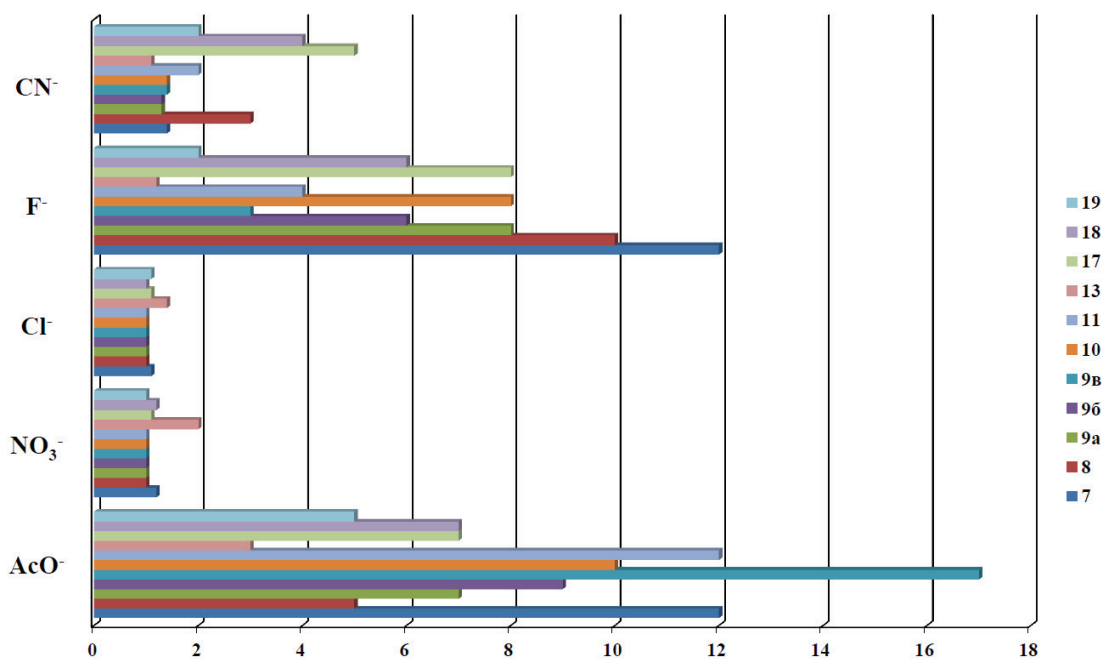
Соед.	Относительное изменение интенсивности флуоресценции, I/I_0					
	Zn^{2+}	Cd^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Pb^{2+}	Hg^{2+}
7	1,0	0,9	0,6	0,1	0,7	0,7
8	0,9	1,3	0,7	0,2	0,6	0,6
9a	1,1	1,0	0,5	0,2	0,6	0,6
9б	0,9	0,9	0,8	0,3	0,8	0,7
9в	1,0	1,0	0,8	0,7	1,0	1,5
10	0,8	1,0	0,6	0,5	0,6	1,2
11	0,9	1,2	0,5	0,4	0,8	1,2
13	2,8	0,7	0,4	0,1	0,5	0,6
17	15,0	6,0	0,4	0,8	0,9	2,0
18	10,0	7,0	0,7	0,9	1,0	0,8
19	9,0	7,0	0,6	0,8	1,0	3,0

При взаимодействии полученных производных (**7–11**, **13**, **17–19**) с тетрабутиламмониевыми солями наиболее существенные изменения интенсивности флуоресценции вызываются ионами F^- и AcO^- .

При возрастании числа амидных фрагментов в ряду **9a–9б–9в** происходит увеличение как чувствительности, так и селективности по отношению к ацетат-аниону. Так, добавление $\text{NBu}_4^+\text{AcO}^-$ (NBu_4^+F^-) к ацетонитрильным растворам солей (**9a–в**) вызывает увеличение интенсивности флуорес-

ценции в 7,0 (8,0), 9,0 (6,0) и 17,0 (3,0) раз соответственно (см. рисунок).

Для всех полимерных систем (**7–11**, **17–19**), содержащих антраценовый флуорофор, добавление катионов или анионов не вызывает каких-либо существенных сдвигов максимума флуоресценции. В то же время добавление ионов к раствору соединения (**13**) приводит к гипсохромному (от 4 до 91 нм) сдвигам максимума флуоресценции, не оказывая значительного влияния на её интенсивность.



Относительное изменение интенсивности флуоресценции соединений (7–11, 13, 17–19) (с $5,0 \cdot 10^{-6}$ моль/л) в MeCN при добавлении солей $NBu_4^+A^-$ (с $2,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

Заключение

Таким образом, исследование новых поли(1-винилимидазолиевых) материалов в качестве потенциальных хемосенсорных систем показало, что они являются эффективными реагентами для определения катионов Zn^{2+} , Cd^{2+} и анионов AcO^- . Установлено, что наиболее селективные и эффективные сенсоры на анионы могут быть получены при кватернизации всех пиридиновых атомов азота в поли(1-винилимидазольной) матрице.

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. Федянина А.Ю. Новые пути создания хемосенсорных материалов / А.Ю. Федянина, И.Е.Толпыгин, А.А. Старикова, О.Г. Николаева, И.В. Левитина, А.В. Цуканов, А.Д. Дубоносов, В.А. Брень // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 11, часть 6. – С. 1526–1530.
2. Anslyn E.V., Wang B. *Chemosensors: principles, strategies, and applications* // Wiley series in drug discovery and development series. – New York: John Wiley & Sons, 2011. – 544 p.
3. Callan J.F. Luminescent sensors and switches in the early 21st century / J.F. Callan, A.P. de Silva, D.C. Magri // *Tetrahedron*. – 2005. – Vol. 61, № 36. – P. 8551–8588.
4. Demchenko A.P. *Introduction to fluorescence sensing*. – New York: Springer. – 2008. – 586 p.
5. Basabe-Desmonts L. Design of fluorescent materials for chemical sensing / L. Basabe-Desmonts, D.N. Reinhoudt, M. Crego-Calama // *Chem. Soc. Rev.* – 2007. – Vol. 36, № 6. – P. 993–1017.
6. Gianneschi N.C. Development of Coordination Chemistry-Based Approach for Functional Supramolecular Structures / N.C. Gianneschi, M. S. Masar, C.A. Mirkin // *Acc. Chem. Res.* – 2005. – Vol. 38, № 11. – P. 825–837.
7. 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.

8. Steed J.W., Turner D.R., Wallace K.J. *Core concepts in supramolecular chemistry and nanochemistry*. – New York: John Wiley & Sons. – 2007. – 307 p.

9. Thompson R.B. *Fluorescence sensors and biosensors*. – New York: CRC/Taylor & Francis. – 2006. – 394 p.

References

1. Fedyanina A.Yu. New synthetic routes for design of chemosensor materials / A.Yu. Fedyanina, I.E. Tolpygin, A.A. Starikova, O.G. Nikolaeva, I.V. Levitina, A.V. Tsukanov, A.D. Dubonosov, V.A. Bren // *Fundamental research*. 2012, no. 11. Part 6. pp. 1526–1530.
2. Anslyn E.V., Wang B. *Chemosensors: principles, strategies, and applications* // Wiley series in drug discovery and development series. New York: John Wiley & Sons. 2011. 544 p.
3. Callan J.F. Luminescent sensors and switches in the early 21st century / J.F. Callan, A.P. de Silva, D.C. Magri // *Tetrahedron*. 2005. Vol. 61, no. 36. pp. 8551–8588.
4. Demchenko A. P. *Introduction to fluorescence sensing*. New York: Springer. 2008. 586 p.
5. Basabe-Desmonts L. Design of fluorescent materials for chemical sensing / L. Basabe-Desmonts, D.N. Reinhoudt, M. Crego-Calama // *Chem. Soc. Rev.* 2007. Vol. 36, no. 6. pp. 993–1017.
6. Gianneschi N.C. Development of Coordination Chemistry-Based Approach for Functional Supramolecular Structures / N.C. Gianneschi, M. S. Masar, C.A. Mirkin // *Acc. Chem. Res.* 2005. Vol. 38, no. 11. pp. 825–837.
7. Hu J. Responsive polymers for detection and sensing applications: current status and future developments / J. Hu, S. Liu. // *Macromolecules*. 2010. Vol. 43, no. 20. pp. 8315–8330.
8. Steed J.W., Turner D.R., Wallace K.J. *Core concepts in supramolecular chemistry and nanochemistry*. New York: John Wiley & Sons. 2007. 307 p.
9. Thompson R.B. *Fluorescence sensors and biosensors*. New York: CRC/Taylor & Francis. 2006. 394 p.

Рецензенты:

Межеричкий В.В., д.х.н., проф., зав. отделом НИИ ФОХ ЮФУ, г. Ростов-на-Дону; Стариков А.Г., д.х.н., в.н.с. НИИ ФОХ ЮФУ, г. Ростов-на-Дону.

Работа поступила в редакцию 30.10.2013.