

А. Л. Толстов<sup>1</sup>, Л. В. Кобрина<sup>1</sup>, Д. А. Климчук<sup>2</sup>, В. Ф. Матюшов<sup>1</sup>,  
академик НАН Украины Е. В. Лебедев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Киев

<sup>2</sup>Институт ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины, Киев

E-mail: [tolstov.aleksandr@rambler.ru](mailto:tolstov.aleksandr@rambler.ru)

## Получение и свойства серебросодержащих композитов на основе меламинаформальдегидного полимера, модифицированного олигодиизоцианатами различной структуры

*Серебросодержащие композиты получены сорбцией ионов  $\text{Ag}^+$  меламинаформальдегидным полимером (МФП), модифицированным олигомерными диизоцианатами. Введение в структуру модификаторов позволяет увеличить степень микрофазового разделения, проницаемость матрицы и долю координационно-активных функциональных групп. Удельная сорбционная емкость модифицированного МФП к ионам  $\text{Ag}^+$  достигает  $6,5 \cdot 10^{-2}$  г/г. Полученные серебросодержащие нанокompозиты обладают гетерогенной структурой, повышенной гидрофильностью и градиентным распределением серебра в объеме полимеров.*

**Ключевые слова:** меламинаформальдегидный полимер, олигодиизоцианат, серебро, нанокompозиты, структура, свойства.

Меламинаформальдегидные полимеры (МФП) широко используются в современной промышленности в качестве адгезивов и защитных покрытий с высокими декоративными свойствами [1]. Низкие физико-механические, адгезионные и другие свойства исходного МФП могут быть улучшены модифицированием низкомолекулярными и олигомерными добавками, среди которых широкое применение нашли спирты, фенолы, амины, амиды и алкидные смолы [1]. Модифицирование улучшает качество покрытий на основе МФП, уменьшает их хрупкость, придает эластичность и ударопрочность, улучшает адгезию к различным поверхностям.

Полимерные материалы с бактерицидными свойствами на основе МФП зачастую получают введением  $\text{Ag}^+$ -содержащих цеолитов [2] или нанодисперсного серебра [3] в меламинаформальдегидную смолу (МФС) с последующим ее отверждением при температуре до 250 °С и давлении 3–30 МПа. Аналогичные материалы также образуются при гомогенизации солей серебра в МФС и отверждении реакционной смеси при 150 °С [4]. Во всех случаях для систем характерно равномерное распределение серебра (в ионной или нанодисперсной форме) в объеме МФП матрицы, обладающей плотно сшитой структурой [1], что *a priori* является неэффективным, поскольку не обеспечивает устойчивого выделения  $\text{Ag}^+$  во внешнюю среду, требует повышенной концентрации серебра в материале, вследствие чего увеличивается стоимость конечного продукта.

---

© А. Л. Толстов, Л. В. Кобрина, Д. А. Климчук, В. Ф. Матюшов, Е. В. Лебедев, 2016

Повысить эффективность бактерицидных материалов на основе МФП можно путем распределения серебра преимущественно в поверхностном слое полимера. Наиболее подходящим для этого является сорбционный метод получения Ag-содержащих полимерных композитов, заключающийся в сорбции ионов  $\text{Ag}^+$  поверхностью полимера [5]. Применению данного метода способствует высокое сродство меламина к серебру в ионной и металлической формах [4, 6–10], причем участие во взаимодействии с ионами/частицами металла могут принимать как атомы азота триазинового цикла [6, 7], так и первичные аминогруппы меламина [10].

Несмотря на химическую активность меламина, МФП обладают достаточно низкой сорбционной емкостью вследствие высокой плотности сшивки полимера, ограничивающей диффузию ионов  $\text{Ag}^+$  в полимерный слой [1]. Для решения данной проблемы был предложен метод химического модифицирования, позволяющий уменьшить плотность сшивки матрицы и увеличить долю комплексообразующих фрагментов в структуре полимера [8, 9]. С этой целью в качестве сомономеров и модификаторов зачастую используют тиомочевину [8, 9] или тетраоксалилэтилендиамин [9]. Данный подход дает возможность получать ионообменные МФП с сорбционной емкостью, достигающей 60–101 мг  $\text{Ag}^+$ /г [8, 9], но ограничивает область применения таких полимеров вследствие худшей стабильности и механических свойств.

С целью получения Ag-содержащих МФП сорбционным методом с перспективой их использования в качестве покрытий был предложен метод модифицирования МФП реакционноспособными олигомерными диизоцианатами различного химического строения. Изучены структурные и морфологические особенности полученных полимерных систем, оценена их активность при сорбции ионов  $\text{Ag}^+$  из водного раствора, а также закономерности распределения серебра в объеме полимерной матрицы.

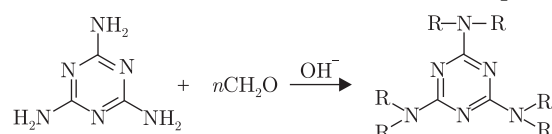
**Экспериментальная часть.** В работе были использованы меламин (2,4,6-триамино-1,3,5-триазин), 37%-й водный раствор формальдегида, NaOH, полиоксипропиленгликоль (ППГ, молекулярная масса (ММ) равна 1000), поли(бутиленгликольадипинат) (ПБГА, ММ = 800), изофорондиизоцианат (ИФДИ), толуилендиизоцианат (ТДИ, смесь 2,4-/2,6-изомеров в соотношении 80/20% (мас.)), дибутилолова дилаурат (ДБД),  $\text{AgNO}_3$ , N,N-диметилформамид (ДМФА), диоксан, дистиллированная вода.

Синтез олигомерных диизоцианатов проводили путем полиприсоединения полиэфирной и изоцианатной составляющих при молярном соотношении ППГ/ИФДИ или ПБГА/ТДИ, равном 1/2, в присутствии катализатора ДБД. Конденсацию меламина и формальдегида для получения МФС проводили смешением меламина и раствора  $\text{CH}_2\text{O}$  в молярном соотношении компонентов, равном 1/2, в присутствии катализатора (NaOH) и выдерживании смеси при 100 °С в течение 40 мин. В полученную МФС добавляли рассчитанное количество олигодиизоцианата (при эквимольном соотношении –ОН и –NCO групп), в смесь добавляли ДМФА (диоксан) до достижения гомогенности реакционной среды. Реакционную систему выдерживали при 100 °С в течение 1 ч и использовали для получения пленок методом полива. Толщина пленок МФП<sup>ППГ</sup> и МФП<sup>ПБГА</sup> (верхний индекс указывает на полиэфир, использованный при получении модификатора) составляла  $350 \pm 20$  мкм. Синтез Ag-содержащих композитов проводили сорбцией ионов  $\text{Ag}^+$  полимерными пленками из  $10^{-2}$  М водного раствора  $\text{AgNO}_3$ .

ИК спектры образцов полимеров записывали на оборудовании Bruker Tensor® 37 в диапазоне волновых чисел 4000–600  $\text{cm}^{-1}$ . Спектры диффузного отражения в УФ и видимой области регистрировали с помощью спектрометра Shimadzu UV-2400 PC. Морфо-

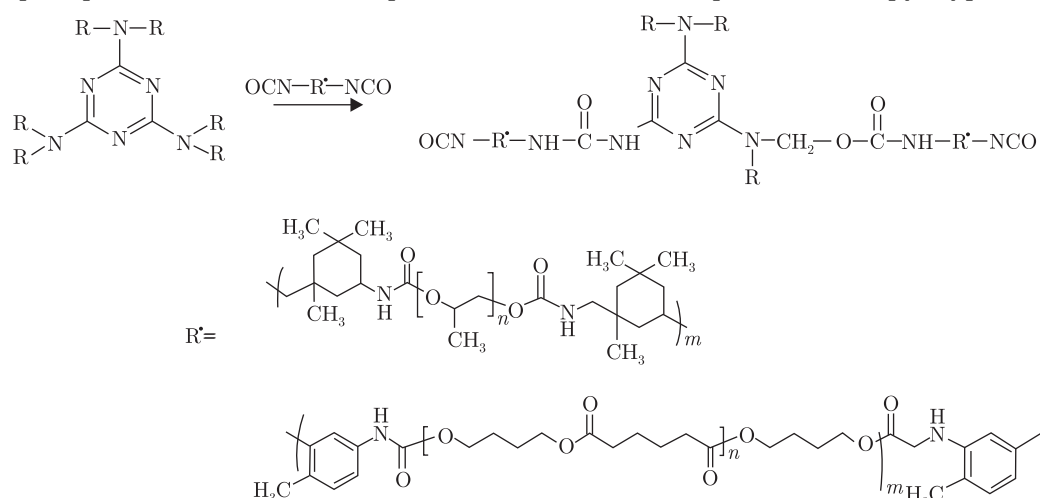
логические исследования методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и элементный микроанализ проводили на комплексе JEOL JSM 6060 LA, оборудованном приставкой для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭРС). Кинетику сорбции ионов  $\text{Ag}^+$  исследовали с помощью иономера ЭВ-74 и ион-селективного электрода ЭЛИС-131Ag. Гидрофильность композитов изучали методом гравиметрии в дистиллированной воде при 20 °С.

**Результаты и их обсуждение.** Процесс конденсации меламина и  $\text{CH}_2\text{O}$  в водной среде, катализируемый  $\text{NaOH}$ , является многостадийным, причем ряд начальных стадий происходят параллельно и являются конкурирующими реакциями [1, 11]. Соотношение меламин/ $\text{CH}_2\text{O}$  зачастую варьирует от 0,083 до 0,5, а первым продуктом конденсации, который можно выделить из реакционной смеси, является триметилолмеламин [11]. В обобщенном виде процесс конденсации меламина и  $\text{CH}_2\text{O}$  можно отобразить следующим образом:

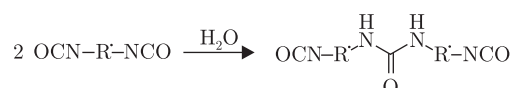


где  $\text{R} = \text{H}$  или  $\text{CH}_2\text{OH}$ .

Поскольку исходная МФС, как уже было упомянуто, не находит практического применения, для придания ей необходимых характеристик был разработан подход, заключающийся в модифицировании МФС олигомерными диизоцианатами различной структуры:



Это позволяет уменьшить плотность сшивки и ввести в структуру МФП дополнительные функциональные фрагменты с координационной активностью по отношению к ионам  $\text{Ag}^+$ . Необходимо отметить, что модифицирование проходит в водной среде и, наряду с взаимодействием между МФС и модификатором, может происходить конденсация олигодиизоцианатов с участием  $\text{H}_2\text{O}$  и образованием замещенных мочеви:



Данная реакция ведет к расходованию  $-\text{NCO}$  групп, но не рассматривается как побочная, поскольку мочевина и ее замещенные аналоги могут взаимодействовать с метилломеламинами с образованием соответствующих продуктов конденсации [1].

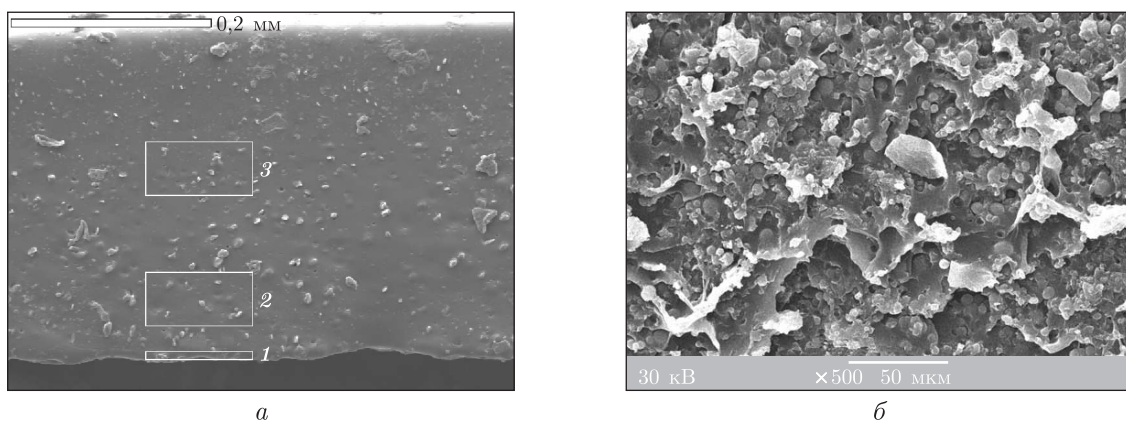


Рис. 1. Микрофотографии поперечного среза пленок композитов МФП<sup>ППГ</sup>-Ag (а), МФП<sup>ПБГА</sup>-Ag (б)

Химическую структуру полимеров исследовали методом ИК спектроскопии, анализируя интенсивность и спектральное положение полос поглощения, характерных для структурных фрагментов модифицированного МФП. На спектре исходного МФП отмечаются полосы триазинового цикла ( $\delta_{1,3,5\text{-триаз.}}$ ) при  $1175$  и  $814$   $\text{см}^{-1}$  и полосы  $\nu_{\text{C-O-C}}$  оксиметиленовых мостиковых групп, связывающих фрагменты меламина, при  $1079$   $\text{см}^{-1}$ . На ИК спектрах модифицированных МФП идентифицированы полосы  $\delta_{1,3,5\text{-триаз.}}$  при  $1181\text{--}1172$  и  $814\text{--}811$   $\text{см}^{-1}$ , а также  $\nu_{\text{C-O-C}}$  оксиметиленовых групп при  $1068\text{--}1066$   $\text{см}^{-1}$ . В зависимости от структуры использованного модификатора на спектрах образцов проявляются полосы поглощения  $\nu_{\text{C-O-C}}$  оксипропиленовых фрагментов ППГ при  $1097$   $\text{см}^{-1}$  (МФП<sup>ППГ</sup>) или  $\nu_{\text{C=O сл.эф.}}$  сложноэфирных групп ПБГА при  $1728$   $\text{см}^{-1}$  (МФП<sup>ПБГА</sup>). Кроме того, для модифицированных МФП идентифицированы малоинтенсивные полосы поглощения  $\nu_{\text{C=O}}$  и  $\gamma_{\text{NH}}$  мочевиновых групп при  $1643\text{--}1639$  и  $1535\text{--}1538$   $\text{см}^{-1}$ , что говорит о частичном взаимодействии NCO-групп модификатора с  $\text{H}_2\text{O}$  или  $-\text{NH}_2$  группами остатков меламина при синтезе модифицированных МФП.

Согласно данным СЭМ (рис. 1), образцы МФП, модифицированные олигодиизоцианатами, обладают четко выраженной гетерогенной структурой, непрерывная и дисперсная фазы которых представляют собой продукт конденсации олигодиизоцианата и частицы МФП соответственно. Отсутствие четкой границы раздела фаз в таких системах подтверждает факт частичного взаимодействия между функциональными группами МФП и модификатора. Дисперсная фаза композита на основе МФП<sup>ППГ</sup> (см. рис. 1, а) состоит из полидисперсных частиц МФП неправильной формы размером  $0,5\text{--}15$   $\mu\text{м}$ . Для образца на основе МФП<sup>ПБГА</sup> (рис. 1, б) характерно наличие как унимодальных сферических частиц МФП размером  $\sim 5$   $\mu\text{м}$ , так и крупных частиц неправильной формы размером  $> 10$   $\mu\text{м}$ .

Влияние химической и фазовой структуры полимерных систем на закономерности сорбции ионов  $\text{Ag}^+$  отражено на рис. 2, а. Исходный МФП, несмотря на наличие функциональных групп с высокой координационной активностью, не связывает  $\text{Ag}^+$  вследствие как плотно сшитой структуры, так и химической активности  $-\text{CH}_2\text{OH}$  групп. Химический анализ системы МФП/ $\text{Ag}^+$  показал, что изменение  $C_{\text{Ag}^+}$  обусловлено фотохимическим восстановлением  $\text{Ag}^+$  на поверхности МФП при участии  $-\text{NH}_2$  и  $-\text{OH}$  групп матрицы. В результате этого на поверхности полимера осаждаются частицы серебра микронного размера, а диффузия  $\text{Ag}^+$  в объем полимера не происходит. Данный факт подтверждается отсутствием на

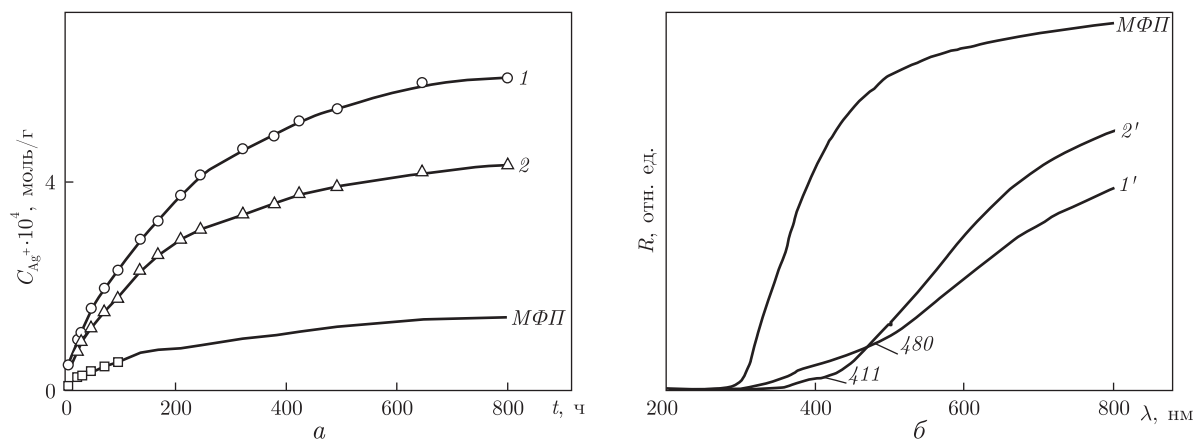


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции  $\text{Ag}^+$  (а) и УФ спектры диффузного отражения (б) образцов: МФП, 1 – МФП<sup>ППГ</sup>, 1' – МФП<sup>ППГ</sup>-Ag, 2 – МФП<sup>ПБГА</sup>, 2' – МФП<sup>ПБГА</sup>-Ag

УФ спектре диффузного отражения образца МФП/ $\text{Ag}^+$  (см. рис. 2, б) полос поглощения, обусловленных участием  $\text{Ag}^+$  в процессах комплексообразования [12], или полосы плазмонного резонанса (ППР), свойственной стабилизированным наночастицам серебра (НС) [4, 13].

Модифицированные МФП обладают высокой сорбционной емкостью, составляющей  $(4,7 \div 6,5) \cdot 10^{-2}$  г  $\text{Ag}^+$ /г, высокими значениями коэффициента диффузии  $D_{\text{Ag}^+}$  (табл. 1), а также способностью функциональных фрагментов матрицы к координации  $\text{Ag}^+$ , что способствует связыванию  $\text{Ag}^+$  и последующему восстановлению образующихся при этом комплексных соединений серебра под действием  $-\text{NH}_2$  и  $-\text{OH}$  групп МФП. Об образовании НС в композитах свидетельствует появление на спектрах диффузного отражения ППР наночастиц серебра с максимумами при 411 и 480 нм. Различие в спектральном положении максимумов ППР Ag-содержащих композитов может быть связано как с влиянием размера НС, так и с эффектом взаимодействия функциональных групп различной природы с поверхностью НС [13].

Результаты микроанализа, отображающие закономерности распределения серебра в объеме Ag-содержащих композитов, представлены в табл. 1. Элементный анализ поверхности среза композита МФП<sup>ППГ</sup>-Ag свидетельствует о том, что средняя концентрация серебра вблизи поверхности (до 5 мкм) достигает 11% (мас.). На большем расстоянии от поверхности (35–75 мкм) концентрация серебра заметно уменьшается и ее средняя величина не превышает 0,15% (мас.). На глубине  $> 100$  мкм серебро методом ЭРС обнаружить не удалось. По-видимому, в процессе сорбции  $\text{Ag}^+$  модифицированным МФП химическое связывание и восстановление ионов происходит преимущественно в поверхностном слое, что подавляет дальнейшую диффузию  $\text{Ag}^+$  в объем образца. Аналогичные закономерности распределения серебра отмечены и для композита МФП<sup>ПБГА</sup>-Ag (см. табл. 1).

Анализ лиофильных характеристик модифицированных полимеров и Ag-содержащих композитов показал, что введение серебра замедляет процесс сорбции  $\text{H}_2\text{O}$  (величина  $D_{\text{H}_2\text{O}}$  композитов уменьшается в 3–14 раз), но при этом повышает гидрофильность (сорбционную емкость) систем на 12–58% (см. табл. 1). Увеличение гидрофильности Ag-содержащих систем, вероятно, связано с влиянием на сорбцию  $\text{H}_2\text{O}$  сольватации ионных центров и других высокополярных групп, образующихся в полимерной матрице при формировании нанокompозитов [13–15], а образование НС, играющих роль узлов физической сшивки полимерной

Таблица 1. Сорбционные и структурные характеристики полимеров и композитов на их основе

Образец	Сорбционные характеристики				Распределение серебра в объеме образца, %*		
	$w_{Ag^+} \cdot 10^2$ , г/г	$D_{Ag^+} \cdot 10^9$ , см <sup>2</sup> /с	$w_{H_2O} \cdot 10^2$ , г/г	$D_{H_2O} \cdot 10^9$ , см <sup>2</sup> /с	0–5 мкм (1)	35–80 мкм (2)	140–180 мкм (3)
МФП	1,5	1,0	2,3	9,4	–	–	–
МФП <sup>ППГ</sup>	6,5	1,9	2,6	17	–	–	–
МФП <sup>ППГ</sup> -Ag	–	–	4,2	5,6	10,9	0,15	–**
МФП <sup>ПБГА</sup>	4,7	2,4	6,0	48	–	–	–
МФП <sup>ПБГА</sup> -Ag	–	–	6,7	3,4	12,7	0,11	–**

\*Выбранные участки композита МФП<sup>ППГ</sup>-Ag для проведения ЭРС микроанализа отмечены на рис. 1, а.

\*\*Концентрация ниже предела обнаружения данным методом.

матрицы, приводит к уменьшению  $D_{H_2O}$ , вследствие повышения “эффективной” плотности сшивки матрицы композита.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность синтеза Ag-содержащих полимерных композитов на основе МФП сорбционным методом. Удельную сорбционную емкость МФП к ионам  $Ag^+$  можно повысить до  $(4,7 \div 6,5) \cdot 10^{-2}$  г/г путем его модифицирования олигомерными диизоцианатами. Использование модификаторов позволяет уменьшить степень сшивки, увеличить степень микрофазового разделения и проницаемость матрицы, а также ввести в ее структуру дополнительные координационно-активные функциональные группы. Полученные Ag-содержащие композиты характеризуются гетерогенной структурой, повышенной по сравнению с исходным полимером гидрофильностью и градиентным распределением серебра в объеме полимера (концентрация серебра уменьшается по мере удаления от поверхности образца).

Авторы работы благодарят сотрудников ЦКПП Института химии высокомолекулярных соединений НАН Украины и Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины за помощь в проведении исследований.

## Цитированная литература

1. Mark H. F. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. – New York: Wiley, 2004. – 9408 p.
2. Pat. 4938955 USA, IC<sup>7</sup> A 61 K 31/74. Antibiotic resin composition / R. Niira, T. Yamamoto, M. Uchida, Y. Fukuoka. – Publ. 03.07.1990.
3. Kim S., Kim H.-J. Anti-bacterial performance of colloidal silver-treated laminate wood flooring // Int. Biodeter. Biodegr. – 2006. – **57**, Iss. 3. – P. 155–162.
4. Толстов А. Л., Матюшов В. Ф., Маланчук О. Н. Структура и бактерицидные свойства полимерных композитов на основе меламинаформальдегидного полимера и наночастиц серебра, синтезированных *in situ* // Теорет. и эксперим. химия. – 2014. – **50**, № 3. – С. 179–184.
5. Moawed E. A., Zaid M. A. A., El-Shahat M. F. Methylene Blue-Grafted Polyurethane Foam Using as a Chelating Resin for Preconcentration and Separation of Cadmium(II), Mercury(II), and Silver(I) from Waste Water // Anal. Lett. – 2003. – **36**. – P. 405–422.
6. Sivashankar K., Ranganathan A., Pedireddi V. R., Rao C. N. R. Novel supramolecular organizations in melamine complexes with 4, 4'-bipyridyl and silver nitrate // J. Mol. Struct. – 2001. – **559**. – P. 41–48.
7. Massoud A. A., Langer V. Bis(1,3,5-triazine-2,4,6-triamine-*kN*<sup>1</sup>)-silver(I) nitrate // Acta Crystallogr. Sect. C. – 2009. – **65**. – P. m198–m200.
8. Yirikoglu H., Gulfen M. Separation and Recovery of Silver(I) Ions from Base Metal Ions by Melamine formaldehyde thiourea (MFT) Chelating Resin // Sep. Sci. Technol. – 2008. – **43**, Iss. 2. – P. 376–388.
9. Abd El-Ghaffar M. A., Abdel-Wahab Z. H., Elwakeel K. Z. Extraction and separation studies of silver(I) and copper(II) from their aqueous solution using chemically modified melamine resins // Hydrometallurgy. – 2009. – **96**, Iss. 1–2. – P. 27–34.

10. Ping H., Zhang M., Li H., Li S., Chen Q., Sun C., Zhang T. Visual detection of melamine in raw milk by label-free silver nanoparticles // *Food Control*. – 2012. – **23**. – P. 191–197.
11. Романов Н. М. Современное состояние исследований меламинаформальдегидных смол // *Пласт. массы*. – 2004. – № 2. – С. 3–11.
12. Толстов А. Л., Зинченко О. В., Матюшов В. Ф. Сорбция ионов  $\text{Ag}^+$  полиуретанами, модифицированными карбамидными или аминогруппами // *Теорет. и эксперим. химия*. – 2013. – **51**, № 5. – P. 322–327.
13. Толстов А. Л. Химические и физико-химические основы получения серебросодержащих полиуретановых систем // *Теорет. и эксперим. химия*. – 2013. – **49**, № 6. – P. 331–353.
14. Voronov A., Kohut A., Vasylyev S., Peukert W. Mechanism of Silver Ion Reduction in Concentrated Solutions of Amphiphilic Invertible Polyesters in Nonpolar Solvent at Room Temperature // *Langmuir*. – 2008. – **24**. – P. 12587–12594.
15. Pastoriza-Santos I., Liz-Marzan L. M. Formation and Stabilization of Silver Nanoparticles through Reduction by *N,N*-Dimethylformamide // *Langmuir*. – 1999. – **15**. – P. 948–951.

## References

1. Mark H. F. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, New York: John Wiley, 2004.
2. Pat. 4938955 USA, IC<sup>7</sup> A 61 K 31/74. Antibiotic resin composition, R. Niira, T. Yamamoto, M. Uchida, Y. Fukuoka, Publ. 03.07.1990.
3. Kim S., Kim H.-J. *Int. Biodeter. Biodegr.*, 2006, **57**, Iss. 3: 155–162.
4. Tolstov A. L., Matyushov V. F., Malanchuk O. N. *Theoret. Experim. Chem.*, 2014, **50**, No 3: 179–184 (in Russian).
5. Moawed E. A., Zaid M. A. A., El-Shahat M. F. *Anal. Lett.*, 2003, **36**: 405–422.
6. Sivashankar K., Ranganathan A., Pedireddi V. R., Rao C. N. R. *J. Mol. Struct.*, 2001, **559**: 41–48.
7. Massoud A. A., Langer V. *Acta Crystallogr. Sect. C.*, 2009, **65**: m198–m200.
8. Yirikoglu H., Gulfen M. *Sep. Sci. Technol.*, 2008, **43**, Iss. 2: 376–388.
9. Abd El-Ghaffar M. A., Abdel-Wahab Z. H., Elwakeel K. Z. *Hydrometallurgy*, 2009, **96**, Iss. 1–2: 27–34.
10. Ping H., Zhang M., Li H., Chen Q., Sun C., Zhang T. *Food Control*, 2012, **23**: 191–197.
11. Romanov N. M. *Plasticheskie massy*, 2004, No 2: 3–11 (in Russian).
12. Tolstov A. L., Zinchenko O. V., Matyushov V. F. *Theoret. Experim. Chem.*, 2013, **51**, No 5: 322–327 (in Russian).
13. Tolstov A. L. *Theoret. Experim. Chem.*, 2013, **49**, No 6: 331–353 (in Russian).
14. Voronov A., Kohut A., Vasylyev S., Peukert W. *Langmuir*, 2008, **24**: 12587–12594.
15. Pastoriza-Santos I., Liz-Marzan L. M. *Langmuir*, 1999, **15**: 948–951.

*Поступило в редакцию 07.12.2015*

**О. Л. Толстов<sup>1</sup>, Л. В. Кобрин<sup>1</sup>, Д. О. Климчук<sup>2</sup>, В. Ф. Матюшов<sup>1</sup>, академік НАН України Є. В. Лебедєв<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, Київ

<sup>2</sup>Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ

*E-mail*: tolstov.aleksandr@rambler.ru

### **Синтез та властивості срібловмісних композитів на основі меламинаформальдегідного полімеру, модифікованого олігодіізоціанатами різної структури**

*Срібловмісні композити одержані сорбцією іонів  $\text{Ag}^+$  меламинаформальдегідним полімером (МФП), модифікованим олігомерними діізоціанатами. Введення в структуру модифікаторів дає можливість підвищити ступінь мікрофазового поділу, проникність матриці і частку координаційноактивних функціональних груп. Питома сорбційна ємність модифікова-*

ного МФП до іонів  $\text{Ag}^+$  досягає  $6,5 \cdot 10^{-2}$  г/г. Одержані срібловмісні наноккомпозити характеризуються гетерогенною будовою, підвищеною гідрофільністю та градієнтним розподілом срібла в об'ємі полімерів.

**Ключові слова:** меламіноформальдегідний полімер, олігодізоціанат, срібло, наноккомпозити, структура, властивості.

**A. L. Tolstov<sup>1</sup>, L. V. Kobrina<sup>1</sup>, D. A. Klymchuk<sup>2</sup>, V. F. Matyushov<sup>1</sup>,**  
Academician of the NAS of Ukraine **E. V. Lebedev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine, Kiev

<sup>2</sup>M. G. Kholodny Institute of Botany of the NAS of Ukraine, Kiev

*E-mail:* tolstov.aleksandr@rambler.ru

### **Preparation and properties of silver-containing composites based on melamine-formaldehyde polymer modified with diisocyanate oligomers of different structures**

*Silver-containing composites were prepared via the sorption of silver ions by melamine-formaldehyde polymer (MFP) modified with diisocyanate oligomers. Introducing the modifiers into a structure of MFP improves microphase separation processes and increases the permeability of the matrix and the concentration of coordination active functional groups. Sorption capacity of modified MFP to  $\text{Ag}^+$  ions reaches  $6.5 \cdot 10^{-2}$  g/g. Ag-containing nanocomposites obtained are characterized by a heterogeneous structure, increased hydrophilicity, and gradient distribution of silver in a bulk of the polymers.*

**Keywords:** melamine-formaldehyde polymer, diisocyanate oligomer, silver, nanocomposites, structure, properties.