

Оригинальная статья / Original article

УДК 546.56-121 : 546.05 : 547.781.1

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-165-170>



Исследование металлополимерных нанокompозитов меди методом УФ-спектроскопии

© А.А. Иванова, А.И. Емельянов,
С.А. Коржова, А.С. Поздняков

Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН,
г. Иркутск, Российская Федерация

Резюме. Получены новые полимерные медьсодержащие нанокompозиты на основе поли-*N*-винилимидазола. Формирование нанокompозитов осуществляли методом химического восстановления ионов меди из раствора ацетата меди аскорбиновой кислотой в водной среде в присутствии полимера. Нанокompозиты получали при молярном соотношении полимер:Cu(II) 10:1 и 5:1. В результате реакции восстановления были получены нанокompозиты в виде порошков красно-коричневого цвета с металлическим блеском. Установлено, что содержание меди в полученных нанокompозитах зависит от исходного молярного соотношения стабилизирующего поли-*N*-винилимидазола и Cu(II) и составляет 5,9 и 11,7%. Образование наноразмерных частиц меди исследовано и подтверждено методом УФ-спектроскопии. В оптических спектрах водных растворов медьсодержащих нанокompозитов наблюдаются максимумы при 537–541 и 646–651 нм, что подтверждает образование ультрадисперсной меди в наноразмерном состоянии. Полученные медьсодержащие нанокompозиты на основе поли-*N*-винилимидазола являются перспективными в медицине, катализе, для применения в оптических, сенсорных и электронных устройствах.

Ключевые слова: поли-*N*-винилимидазол, полимерные нанокompозиты, наночастицы меди

Благодарности: Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области (проект № 20-43-383004). Основные результаты получены с использованием оборудования Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Для цитирования: Иванова А.А., Емельянов А.И., Коржова С.А., Поздняков А.С. Исследование металлополимерных нанокompозитов меди методом УФ-спектроскопии. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 1. С. 165–170. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-165-170>

Study of metal-polymer copper nanocomposites using the method of UV spectroscopy

Anastasia A. Ivanova, Artem I. Emel'yanov,
Svetlana A. Korzhova, Alexander S. Pozdnyakov

A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract: New polymer copper-containing nanocomposites based on poly-*N*-vinylimidazole were obtained. The formation of nanocomposites was carried out using the method of chemical reduction of copper ions from a solution of copper acetate with ascorbic acid in an aqueous medium in the presence of a polymer. Nanocomposites were prepared at the polymer:Cu (II) molar ratio of 10:1 and 5:1. The reduction reaction yielded powder nanocomposites of a red-brown colour and having a metallic shine. It was found that the content of copper in the obtained nanocomposites depends on the initial molar ratio of the stabilising poly-*N*-vinylimidazole and Cu (II), reaching 5.9% and 11.7%. The formation of nanosized copper particles was investigated and confirmed by UV spectroscopy. The optical spectra of aqueous solutions of the obtained copper-containing nanocomposites contained maxima at 537–541 and 646–651 nm, which confirmed the formation of ultradispersed copper in the nanosized state. The obtained copper-containing nanocomposites based on poly-*N*-vinylimidazole are promising materials for use in medicine and catalysis, as well as in optical, sensor and electronic devices.

Keywords: poly-*N*-vinylimidazole, polymer nanocomposites, copper nanoparticles

Acknowledgments. The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Irkutsk Region (project No. 20-43-383004). The main results were obtained using the equipment of the Baikal Analytical Centre for Collective Use of the SB RAS.

For citation: Ivanova AA, Emel'yanov AI, Korzhova SA, Pozdnyakov AS. Study of metal-polymer copper nanocomposites using the method of UV spectroscopy. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(1):165–170. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-165-170>

ВВЕДЕНИЕ

Наночастицы металлов являются объектами активного изучения в связи с их повышенной реакционной способностью, интересными биологическими свойствами, малыми размерами и способностью проникать в клетки организма [1–3]. В настоящее время наблюдается значительный рост использования наноразмерных структур, в частности, наночастиц меди. Специфические свойства наночастиц меди открывают широкие возможности для создания новых композитов для медицины, сельского хозяйства, эффективных катализаторов, сенсорных систем и другое [4–6].

Одной из важнейших проблем является синтез стабильных наночастиц заданного размера, в течение длительного времени сохраняющих высокую химическую или биологическую активность. Поэтому поиск путей стабилизации таких частиц является актуальным направлением исследования. В качестве эффективных стабилизаторов используются различные высокомолекулярные соединения как природного (хитозан, целлюлоза, арабиногалактан и др.) [7, 8], так и синтетического (поли-N-винилпирролидон, полиакриламид, поли-N-винил-1,2,4-триазол и др.) происхождения [9–11].

В данной работе в качестве стабилизатора мелкодисперсных частиц меди был использован поли-N-винилимидазол (ПВИ), который обладает широким спектром практически значимых свойств и активно используется в различных областях [12, 13]. Отличительной особенностью полимеров на основе поли-N-винилимидазола является наличие пиридинового атома азота в структуре азольного кольца, который проявляет электронодонорные свойства, что открывает широкие возможности для модификации полимеров. Такие полимеры эффективно сорбируют ионы металлов, образуя координационные комплексы с каталитической активностью [14, 15].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

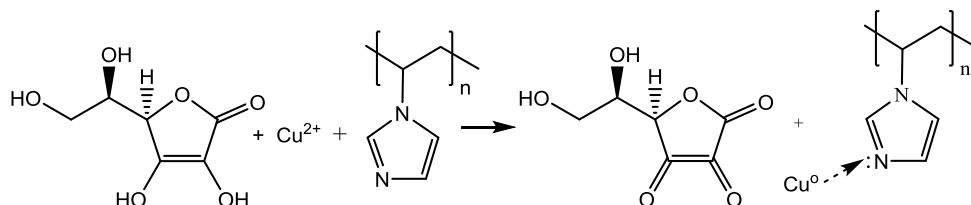
В качестве исходных соединений использо-

вали поли-N-винилимидазол, полученный по методике, представленной в работе [16], моногидрат ацетата меди ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – CuAc) (99,9%, Sigma-Aldrich) и аскорбиновую кислоту (99,9%, Sigma-Aldrich). Этиловый спирт и ацетон очищали в соответствии с общепринятыми методиками. Содержание меди в нанокompозитах определяли методом атомно-абсорбционного анализа с использованием Shimadzu AA-6200. УФ-спектры снимали на спектрофотометре Shimadzu UV 2450.

Синтез нанокompозитов: Синтез проводили на водяной бане с обратным холодильником. Смесь ПВИ (3,2 ммоль) и аскорбиновой кислоты (2,7 и 6,4 ммоль), растворенных в воде, интенсивно перемешивали в течение 40 мин, нагревая до 80 °С. Затем по каплям добавляли водный раствор моногидрата ацетата меди (0,3 и 0,6 ммоль) и перемешивали в течение 2 ч. Реакционную смесь осаждали в ацетон, центрифугировали и сушили до постоянного веса. В результате получены нанокompозиты в виде темно-коричневых порошков с выходом 83–85%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Восстановление ионов меди из CuAc осуществляли в водной среде при постоянном перемешивании в присутствии полимера и восстановителя. Молярное соотношение ПВИ : Cu(II) составляло 10:1 и 5:1. Для предотвращения окисления наночастиц во время синтеза в растворе создавалась бескислородная среда. В качестве восстановителя использовали аскорбиновую кислоту, которая широко применяется для восстановления ионов меди [17, 18], при этом восстановление металла происходит даже при малых концентрациях кислоты [18]. Редокс-процесс обеспечивается за счет электронного перехода от восстановителя L-аскорбиновой кислоты к ионам меди, и происходит последующее зарождение атомов меди в матрице стабилизирующего агента [19].



В ходе реакции наблюдается изменение цвета реакционной смеси от светло-коричневого до темного красно-коричневого. В результате реакции восстановления были получены нанокompо-

зиты в виде порошков красно-коричневого цвета с содержанием меди 5,9 и 11,7%.

За ходом реакции следили по спектрам оптического поглощения реакционных растворов в

водной среде. Спектры регистрировали через различные интервалы времени после добавления моногидрата ацетата меди к смеси полимера и аскорбиновой кислоты. На рис. 1, а представлены спектры исходных соединений.

При смешении ПВИ и аскорбиновой кислоты при комнатной температуре видимых изменений

не происходит. После нагревания до 80 °С появляется плечо с максимумом 354 нм (рис. 1, б). Введение в смесь водного раствора ацетата меди приводит к появлению интенсивного пика в той же области, при этом полностью исчезает пик с максимумом 755 нм, соответствующий Cu^{2+} (см. рис. 1, б).

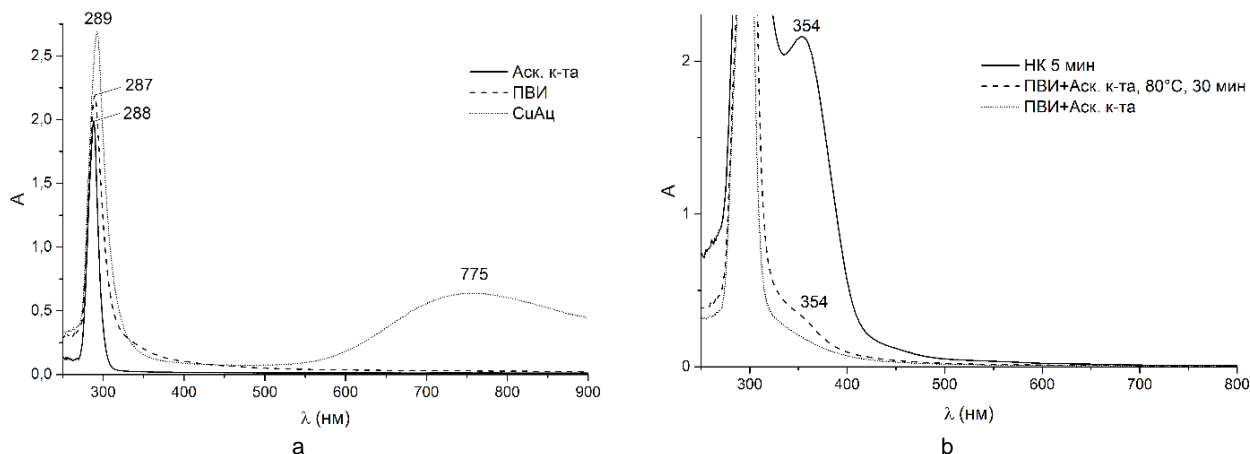


Рис. 1. Оптические спектры поглощения исходных соединений (а) и начала образования наноразмерных частиц в водной среде (б)

Fig. 1. Fig. 1. Optical absorption spectra of the starting compounds (a) and the beginning of the nanosized particles formation in an aqueous medium (b)

В начале реакции образуется комплекс меди с аскорбиновой кислотой, который подвергается окислительно-восстановительному распаду с образованием продуктов окисления аскорбиновой кислоты и ультрадисперсной меди [19, 20], которая взаимодействует с пиридиновыми атомами азота ПВИ. Такое взаимодействие обеспечивает эффективную стабилизацию наночастиц меди на ранних стадиях формирования.

Образование наночастиц меди наблюдается уже через 10 мин от начала реакции, появляется характерное красновато-коричневое окрашивание (рис. 2). В спектрах оптического поглощения наблюдаются два максимума поверхностного плазмонного резонанса: 537–541 и 646–651 нм, что указывает на присутствие частиц меди в металлическом состоянии разного размера [21, 22]. Слабый сдвиг максимумов в длинноволновую область свидетельствует об укрупнении наночастиц металла [23]. Реакция восстановления меди прекращается через 120 мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, методом химического восстановления ионов меди из раствора ацетата меди были получены наноконкомпозиты меди и поли-N-винилимидазола. В качестве восстановите-

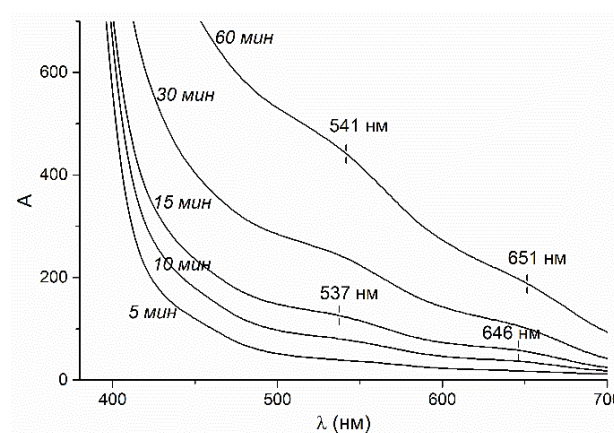


Рис. 2. Оптические спектры поглощения наноконкомпозита во времени

Fig. 2. Optical absorption spectra of the nanocomposite in time

ля использовали аскорбиновую кислоту. Спектры оптического поглощения реакционных растворов в водной среде подтверждают образование частиц меди в наноразмерном состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ivanchev S.S., Ozenn A.N. Nanostructures in polymer systems // Polymer Science. Series B. 2006. Vol. 48. Issue 4. P. 213–225. <https://doi.org/10.1134/S1560090406070153>

2. Lee J.H., Gulumian M., Faustman E.M., Workman T., Jeon K., Yu I.J. Blood biochemical and

hematological study after subacute intravenous injection of gold and silver nanoparticles and coadministered gold and silver nanoparticles of similar sizes // *Biomed Research International*. 2018. Vol. 2018. 10 p. <https://doi.org/10.1155/2018/8460910>

3. Shurygina I.A., Prozorova G.F., Trukhan I.S., Korzhova S.A., Fadeeva T.V., Pozdnyakov A.S., et al. Nontoxic silver/poly-1-vinyl-1,2,4-triazole nanocomposite materials with antibacterial activity // *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10. Issue 8. P. 1477. <https://doi.org/10.3390/nano10081477>

4. Ahn Y., Jeong Y., Lee D., Lee Y. Copper nanowire – graphene core-shell nanostructure for highly stable transparent conducting electrodes // *ACS Nano*. 2015. Vol. 9. Issue 3. P. 3125–3133. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b00053>

5. Malandrakis A.A., Kavroulakis N., Chrysikopoulos C.V. Synergy between Cu-NPs and fungicides against *Botrytis cinerea* // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 703. P. 135557. <https://doi.org/j.scitotenv.2019.135557>

6. Pozdnyakov A.S., Emel'yanov A.I., Kuznetsova N.P., Ermakova T.G., Bolgova Y.I., Trofimova O.M., et al. A Polymer Nanocomposite with CuNP Stabilized by 1-Vinyl-1,2,4-triazole and Acrylonitrile Copolymer // *Synlett*. 2016. Vol. 27. Issue 6. P. 900–904. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1561292>

7. Muhammad G., Hussain M.A., Amin M., Hussain S.Z., Hussain I., Abbas Bukhari S.N., et al. Glucuronoxylian-mediated silver nanoparticles: green synthesis, antimicrobial and wound healing applications // *RSC Advances*. 2017. Vol. 7. P. 42900–42908. <https://doi.org/10.1039/C7RA07555C>

8. Prokhorov E., España-Sánchez B.L., Luna-Bárcenas G., Padilla-Vaca F., Cruz-Soto M.-E., Vázquez-Lepe M.O., et al. Chitosan/copper nanocomposites: Correlation between electrical and antibacterial properties // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2019. Vol. 180. P. 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.04.047>

9. Panarin E.F. Biologically active polymer nanosystems // *Russian Chemical Bulletin*. 2017. Vol. 66. Issue 10. P. 1812–1820. <https://doi.org/10.1007/s11172-017-1952-z>

10. Zezina E.A., Emel'yanov A.I., Pozdnyakov A.S., Myachina G.F., Abramchuk S.S., Feldman V.I., et al. Radiation-induced synthesis of copper nanostructures in the films of interpolymer complexes // *Radiation Physics and Chemistry*. 2019. Vol. 158. P. 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.01.019>

11. Pozdnyakov A.S., Ivanova A.A., Emel'yanov A.I., Bolgova Y.I., Trofimova O.M., Myachina G.F. Water-soluble stable polymer nanocomposites with AuNPs based on the functional poly(1-vinyl-1,2,4-triazole-co-N-vinylpyrrolidone) // *Journal Organometallic Chemistry*. 2020. Vol. 922. P. 121352. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2020.121352>

12. Nakabayashi K., Mori H. Recent progress in controlled radical polymerization of N-vinyl mono-

mers // *European Polymer Journal*. 2013. Vol. 49. Issue 10. P. 2808–2838. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.07.006>

13. Lebedeva O.V., Pozhidaev Y.N., Shaglaeva N.S., Pozdnyakov A.S., Bochkareva S.S. Polyelectrolytes based on nitrogenous bases // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2010. Vol. 44. Issue 5. P. 786–790. <https://doi.org/10.1134/S0040579510050258>

14. Selivanova A.V., Tyurin V.S., Beletskaya I.P. Palladium nanoparticles supported on poly(N-vinylimidazole-co-N-vinylcaprolactam) as an effective recyclable catalyst for the Suzuki reaction // *ChemPlusChem*. 2014. Vol. 79. Issue 9. P. 1278–1283. <https://doi.org/10.1002/cplu.201402111>

15. Zhou Y., Zhu M., Li S. Self-switchable catalysis by a nature-inspired polymer nanoreactor containing Pt nanoparticles // *Journal of Materials Chemistry A*. 2014. Vol. 2. Issue 19. P. 6834–6839. <https://doi.org/10.1039/C3TA15053D>

16. Pekel N.P., Güven O. Investigation of complex formation between poly(N-vinyl imidazole) and various metal ions using the molar ratio method // *Colloid and Polymer Science*. 1999. Vol. 277. Issue 6. P. 570–573. <https://doi.org/10.1007/s003960050426>

17. Fathima J.B., Pugazhendhi A., Oves M., Venis R. Synthesis of eco-friendly copper nanoparticles for augmentation of catalytic degradation of organic dyes // *Journal of Molecular Liquids*. 2018. Vol. 260. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.03.033>

18. Cheng X., Zhang X., Yin H., Wang A., Xu Y. Modifier effects on chemical reduction synthesis of nanostructured copper // *Applied Surface Science*. 2006. Vol. 253. Issue 5. P. 2727–2732. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.05.125>

19. Xiong J., Wang Y., Xue Q., Wu X. Synthesis of highly stable dispersions of nanosized copper particles using L-ascorbic acid // *Green Chemistry*. 2011. Vol. 13. Issue 4. P. 900–904. <https://doi.org/10.1039/c0gc00772b>

20. Солдатенко Е.М., Доронин С.Ю., Чернова Р.К. Химические способы получения наночастиц меди // *Бутлеровские сообщения*. 2014. Т. 37. N 2. С. 103–113.

21. Dhas N.A., Raj C.P., Gedanken A. Synthesis, characterization, and properties of metallic copper nanoparticles // *Chemistry of Materials*. 1998. Vol. 10. Issue 5. P. 1446–1452. <http://dx.doi.org/10.1021/cm9708269>

22. Rajesh K.M., Ajitha B., Reddy Y.A.K., Suneetha Y., Reddy P.S. Synthesis of copper nanoparticles and role of pH on particle size control // *Materials Today: Proceedings*. 2016. Vol. 3. Issue 6. P. 1985–1991. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.04.100>

23. Mott D., Galkowski J., Wang L., Luo J., Zhong C.-J. Synthesis of size-controlled and shaped copper nanoparticles // *Langmuir*. 2007. Vol. 23. Issue 10. P. 5740–5745. <https://doi.org/10.1021/la0635092>

REFERENCES

1. Ivanchev SS, Ozenn AN. Nanostructures in polymer systems. *Polymer Science Series B*. 2006;48(4): 213–225. <https://doi.org/10.1134/S1560090406070153>
2. Lee JH, Gulumian M, Faustman EM, Workman T, Jeon K, Yu IJ. Blood biochemical and hematological study after subacute intravenous injection of gold and silver nanoparticles and coadministered gold and silver nanoparticles of similar sizes. *Biomed Research International*. 2018;2018. 10 p. <https://doi.org/10.1155/2018/8460910>
3. Shurygina IA, Prozorova GF, Trukhan IS, Korzhova SA, Fadeeva TV, Pozdnyakov AS, et al. Nontoxic silver/poly-1-vinyl-1,2,4-triazole nanocomposite materials with antibacterial activity. *Nanomaterials*. 2020;10(8): 1477. <https://doi.org/10.3390/nano10081477>
4. Ahn Y, Jeong Y, Lee D, Lee Y. Copper nanowire – graphene core-shell nanostructure for highly stable transparent conducting electrodes. *ACS Nano*. 2015;9(3):3125–3133. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b00053>
5. Malandrakis AA, Kavroulakis N, Chrysikopoulos CV. Synergy between Cu-NPs and fungicides against *Botrytis cinerea*. *Science of the Total Environment*. 2020;703:135557. <https://doi.org/j.scitotenv.2019.135557>
6. Pozdnyakov AS, Emel'yanov AI, Kuznetsova NP, Ermakova TG, Bolgova YI, Trofimova OM, et al. A Polymer Nanocomposite with CuNP Stabilized by 1-Vinyl-1,2,4-triazole and Acrylonitrile Copolymer. *Synlett*. 2016;27(6):900–904. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1561292>
7. Muhammad G, Hussain MA, Amin M, Hussain SZ, Hussain I, Abbas Bukhari SN, et al. Glucuronoxylan-mediated silver nanoparticles: green synthesis, antimicrobial and wound healing applications. *RSC Advances*. 2017;7:42900–42908. <https://doi.org/10.1039/C7RA07555C>
8. Prokhorov E, España-Sánchez BL, Luna-Bárcenas G, Padilla-Vaca F, Cruz-Soto M-E, Vázquez-Lepe MO, et al. Chitosan/copper nanocomposites: Correlation between electrical and antibacterial properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2019;180:186–192. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.04.047>
9. Panarin EF. Biologically active polymer nanosystems. *Russian Chemical Bulletin*. 2017;66(10):1812–1820. <https://doi.org/10.1007/s11172-017-1952-z>
10. Zezina EA, Emel'yanov AI, Pozdnyakov AS, Myachina GF, Abramchuk SS, Feldman VI, et al. Radiation-induced synthesis of copper nanostructures in the films of interpolymer complexes. *Radiation Physics and Chemistry*. 2019;158:115–121. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.01.019>
11. Pozdnyakov AS, Ivanova AA, Emel'yanov AI, Bolgova YI, Trofimova OM, Myachina GF. Water-soluble stable polymer nanocomposites with AuNPs based on the functional poly(1-vinyl-1,2,4-triazole-co-N-vinylpyrrolidone). *Journal Organometallic Chemistry*. 2020;922:121352. <https://doi.org/10.1016/j.jorgchem.2020.121352>
12. Nakabayashi K, Mori H. Recent progress in controlled radical polymerization of N-vinyl monomers. *European Polymer Journal*. 2013;49(10):2808–2838. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.07.006>
13. Lebedeva OV, Pozhidaev YN, Shaglaeva NS, Pozdnyakov AS, Bochkareva SS. Polyelectrolytes based on nitrogenous bases. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2010;44(5):786–790. <https://doi.org/10.1134/S0040579510050258>
14. Selivanova AV, Tyurin VS, Beletskaya IP. Palladium nanoparticles supported on poly(N-vinyl-imidazole-co-N-vinylcaprolactam) as an effective recyclable catalyst for the Suzuki reaction. *ChemPlusChem*. 2014;79(9):1278–1283. <https://doi.org/10.1002/cplu.201402111>
15. Zhou Y, Zhu M, Li S. Self-switchable catalysis by a nature-inspired polymer nanoreactor containing Pt nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry A*. 2014;2(19):6834–6839. <https://doi.org/10.1039/C3TA15053D>
16. Pekel NP, Güven O. Investigation of complex formation between poly(N-vinyl imidazole) and various metal ions using the molar ratio method. *Colloid and Polymer Science*. 1999;277(6):570–573. <https://doi.org/10.1007/s003960050426>
17. Fathima JB, Pugazhendhi A, Oves M, Venis R. Synthesis of eco-friendly copper nanoparticles for augmentation of catalytic degradation of organic dyes. *Journal of Molecular Liquids*. 2018;260:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.03.033>
18. Cheng X, Zhang X, Yin H, Wang A, Xu Y. Modifier effects on chemical reduction synthesis of nanostructured copper. *Applied Surface Science*. 2006; 253(5):2727–2732. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.05.125>
19. Xiong J, Wang Y, Xue Q, Wu X. Synthesis of highly stable dispersions of nanosized copper particles using L-ascorbic acid. *Green Chemistry*. 2011;13(4): 900–904. <https://doi.org/10.1039/c0gc00772b>
20. Soldatenko E.M., Doronin S.Yu., Chernova R.K. Chemical methods for producing copper nanoparticles. *Butlerovskie Soobshcheniya = Butlerov Communication*. 2014;37(2):103–113. (In Russian)
21. Dhas NA, Raj CP, Gedanken A. Synthesis, characterization, and properties of metallic copper nanoparticles. *Chemistry of Materials*. 1998;10(5):1446–1452. <http://dx.doi.org/10.1021/cm9708269>
22. Rajesh KM, Ajitha B, Reddy YAK, Suneetha Y, Reddy PS. Synthesis of copper nanoparticles and role of pH on particle size control. *Materials Today: Proceedings*. 2016;3(6):1985–1991. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.04.100>
23. Mott D, Galkowski J, Wang L, Luo J, Zhong C-J. Synthesis of size-controlled and shaped copper nanoparticles. *Langmuir*. 2007;23(10):5740–5745. <https://doi.org/10.1021/la0635092>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванова Анастасия Андреевна,
младший научный сотрудник,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
✉ e-mail: ivanova93@irioch.irk.ru

Емельянов Артем Иванович,
к.х.н., старший научный сотрудник,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
e-mail: emelyanov@irioch.irk.ru

Коржова Светлана Анатольевна,
к.х.н., научный сотрудник,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
e-mail: korzhova@irioch.irk.ru

Поздняков Александр Сергеевич,
к.х.н., заведующий лабораторией
функциональных полимеров,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
e-mail: pozdnyakov@irioch.irk.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 14.09.2020.
Одобрена после рецензирования 28.10.2020.
Принята к публикации 28.02.2021.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasia A. Ivanova,
Junior Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, A.E. Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
✉ e-mail: ivanova93@irioch.irk.ru

Artem I. Emel'yanov
Cand. Sci. (Chemistry), Senior Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, A.E. Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: emelyanov@irioch.irk.ru

Svetlana A. Korzhova
Cand. Sci. (Chemistry), Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, A.E. Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: korzhova@irioch.irk.ru

Alexander S. Pozdnyakov
Cand. Sci. (Chemistry),
Head of Laboratory of Functional Polymers,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, A.E. Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: pozdnyakov@irioch.irk.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and ap-
proved by all the co-authors.*

*The article was submitted 14.09.2020.
Approved after reviewing 28.10.2020.
Accepted for publication 28.02.2021.*