

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

ХИМИЯ
CHEMISTRY

УДК 548.736.64:621.357.77
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-3-287-293>

Поступило в редакцию 10.05.2022
Received 10.05.2022

А. С. Логвинович¹, Т. В. Свиридова¹, Е. В. Скорб²,
член-корреспондент Д. В. Свиридов¹, академик В. Е. Агабеков³

¹Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

**СОЗДАНИЕ pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ
КОНТЕЙНЕРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЧАСТИЦ ИНТЕРКАЛИРОВАННОГО
АЗОЛОМ ОКСИДА МОЛИБДЕНА С ОЛИГООКСОМЕТАЛЛАТНОЙ ОБОЛОЧКОЙ**

Аннотация. С использованием процессов поликонденсации оксосоединений синтезированы контейнерные структуры в виде ядра из слоистого триоксида молибдена, интеркалированного 3-амино-1,2,4-триазолом (ингибитор коррозии), на поверхность которого нанесена оболочка из полимеризованной вольфрамовой кислоты. Показано, что в кислой (pH < 5,5) и щелочной (pH > 8,5) среде сплошность оболочки обратимо нарушается, что позволяет инкапсулированному содержимому выделяться в окружающую среду. Наличие у оксометалллатной оболочки собственной редокс-активности позволяет иммобилизовать содержащиеся ингибитор контейнерные структуры за счет электрохимического соосаждения с никелем, а возможность открытия контейнеров в результате изменения локальных значений pH при протекании коррозионного процесса обеспечивает автономную антикоррозионную защиту полученных металл-матричных покрытий.

Ключевые слова: контейнерные системы, оксид молибдена, оксид вольфрама, металл-матричные композиты

Для цитирования. Создание pH-чувствительных антикоррозионных контейнерных систем на основе частиц интеркалированного азолом оксида молибдена с олигooksометалллатной оболочкой / А. С. Логвинович [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 287–293. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-3-287-293>

Alexander S. Logvinovich¹, Tatiana V. Sviridova¹, Ekaterina V. Skorb²,
Corresponding Member Dmitry V. Sviridov¹, Academician Vladimir E. Agabekov³

¹Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

²ITMO University, Saint Petersburg, Russian Federation

³Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

**CREATING THE pH-SENSITIVE CORROSION-INHIBITING CONTAINER STRUCTURES BASED
ON THE AZOLE-INTERCALATED MOLYBDENUM OXIDE PARTICLES
WITH OLIGOOXOMETALATE SHELL**

Abstract. The container structures consisting of the core made of layered molybdenum oxide intercalated with 3-amino-1,2,4-triazole (it behaves as the corrosion inhibitor) capped with the shell made of polymerized tungsten oxide were synthesized employing the polycondensation of oxocompounds. It is shown that in the acid (pH < 5.5) and alkali (pH > 8.5) media, the coating continuity appears to be broken reversibly, which facilitates the emission of the encapsulated compounds from the containers. The intrinsic redox activity inherent into the oligooxometalate shell permits one to immobilize the synthesized containers by co-precipitation with galvanic nickel, whereas the possibility to open the container as a result of local pH value variations accompanying the corrosion process ensures the autonomic corrosion protection of the resultant metal-matrix coatings.

Keywords: container systems, molybdenum oxide, tungsten oxide, metal-matrix-composite

For citation. Logvinovich A. S., Sviridova T. V., Skorb E. V., Sviridov D. V., Agabekov V. E. Creating the pH-sensitive corrosion-inhibiting container structures based on the azole-intercalated molybdenum oxide particles with oligooxometalate shell. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2022, vol. 66, no. 3, pp. 287–293 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-3-287-293>

Введение. Одним из наиболее эффективных подходов к решению проблемы защиты металлов от коррозии является создание автономных защитно-коррозионных систем, способных выделять соединения-ингибиторы непосредственно при протекании коррозионного процесса [1]. Системы такого рода, как правило, базируются на использовании рН-чувствительных контейнерных структур в виде полиэлектролитных капсул [2; 3], открывающихся при локальном изменении кислотности в местах развития коррозионного процесса (прежде всего, в области трещин, проколов и других дефектов защитного покрытия). В случае защитно-коррозионных систем такого рода формируется специфическая отрицательная обратная связь: протекание коррозионного процесса инициирует конформационные превращения в полиэлектролитных оболочках контейнеров, обеспечивающие их открытие и выделение инкапсулированных ингибиторов, результатом чего является подавление коррозии. Такие рН-управляемые контейнеры являются принципиально более эффективными по сравнению с простыми безоболочечными структурами с «прямым истечением», например, на основе слоистых гидроксидов, содержащих в межслоевом объеме ингибиторы коррозии [4]. В то же время полиэлектролитные оболочки рН-управляемых контейнерных структур (ядра которых, как правило, представляют собой частицы мезопористых оксидов синтетического [5] либо природного [6] происхождения) затрудняют встраивание полученных полиэлектролитных контейнеров в защитные покрытия. Все это определяет актуальность создания контейнерных структур на основе неорганических соединений, хорошо совместимых с матричным материалом защитных покрытий (в том числе, представляющих собой пленку гальванически осажденного металла) и при этом способных надежно удерживать во внутреннем объеме органические соединения – ингибиторы коррозии.

Целью настоящего исследования являлось создание рН-управляемых контейнеров, в которых в качестве контейнерного ядра используются частицы слоистого триоксида молибдена с интеркалированным 3-амино-1,2,4-триазолом (выступает в роли ингибитора коррозии [7]), на поверхность которых нанесена олигооксвольфраматная оболочка, причем и ядро, и оболочка получены методами поликонденсационного синтеза.

Материалы и методы исследования. Использованные в работе контейнерные структуры, построенные по схеме «ядро–оболочка», были получены путем осаждения продуктов полимеризации вольфрамовой кислоты (синтезирована методом ионного обмена) на поверхность ядер из слоистого триоксида молибдена, содержащего в своем межслоевом объеме 3-амино-1,2,4-триазол (АТА). Интеркалированный АТА триоксид молибдена (представляющий собой по данным рентгенофазового анализа смесь гексагонального и триклинного MoO_3) выращивался в сольвотермических условиях [8; 9] при 100 °С в 0,5 М растворе молибденовой кислоты, содержащем 0,05 г/л АТА. Продолжительность синтеза, обеспечивающая получение частиц MoO_3 :АТА со средним размером 8 мкм, составляла 4 ч. Содержание АТА в полученном таким образом интеркалированном MoO_3 достигало 56 мол. % (определялось фотометрически на длине волны $\lambda = 271$ нм с использованием спектрофотометра Shimadzu UV-2550 после растворения оксидного каркаса в аммиачном растворе). Выращивание олигооксвольфраматных оболочек на поверхности синтезированных ядер осуществлялось методом сольвотермического осаждения [8] из 0,1 М раствора вольфрамовой кислоты при 50 °С в течение 30 мин (схема получения контейнерных структур MoO_3 :АТА/ WO_3 представлена на рис. 1). Для сравнения аналогичная оболочка была выращена на поверхности частиц гексагонального MoO_3 , синтезированных сольвотермическим методом в тех же условиях, что и дисперсный MoO_3 :АТА.

Способность полученных контейнерных структур MoO_3 :АТА(ядро)/ WO_3 (оболочка) к удерживанию АТА и его выделению в контактирующий электролит с различным уровнем кислотности определялась фотометрически. Инфракрасные спектры контейнерных частиц регистрировались с помощью спектрометра Shimadzu IRTracer-100; для исследования их морфологии использовался сканирующий электронный микроскоп LEO 1420. Частицы MoO_3 :АТА/ WO_3 вводились в электролит гальванического осаждения никеля ($\text{NiSO}_4 - 200$ г/дм³, $\text{NiCl}_2 - 50$ г/дм³, $\text{H}_3\text{BO}_3 - 35$ г/дм³ [10]) в количестве 0,1 г/дм³. Затем из полученного суспензионного электролита при плотности тока 2,0 А/дм² и постоянном перемешивании на медную подложку осаждался никель-матричный композит в виде пленки толщиной 20 мкм. Содержание инкорпорированных

гибридных частиц $\text{MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$ в композите составляло 1–2 мас. % (в расчете на MoO_3). Коррозионные свойства полученных композиционных покрытий, содержащих частицы $\text{MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$, исследовались в растворе NaCl (3 мас. %) методом импедансной спектроскопии с использованием потенциостата/гальваностата Autolab PGSTAT204 с импедансным модулем FRA32.

Результаты и их обсуждение. При поликонденсации вольфрамовой кислоты на поверхности частиц $\text{MoO}_3\text{:ATA}$ наблюдается образование сплошной олигооксвольфраматной оболочки (рис. 1), чему должна способствовать характерная для вольфрамовой кислоты способность к 3D полимеризации [11].

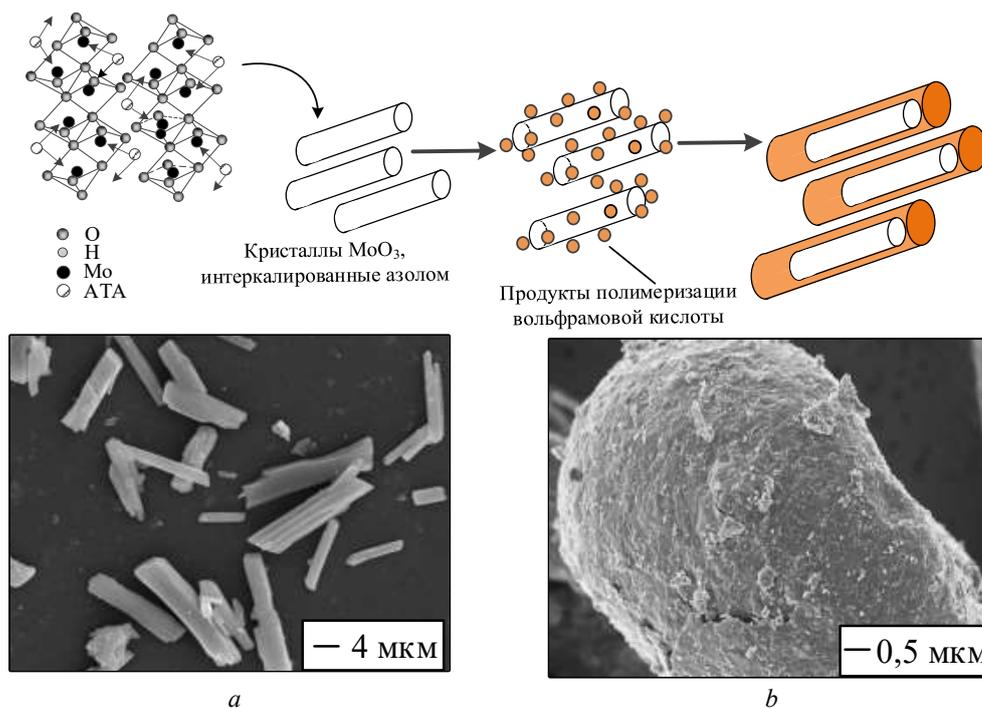


Рис. 1. Схема получения частиц $\text{MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$ со структурой «ядро–оболочка». Ниже приведены электронно-микроскопические изображения (сканирующая электронная микроскопия) частиц триоксида молибдена, интеркалированных АТА, полученных до (а) и после (б) осаждения оболочек из олигооксометаллата

Fig. 1. Scheme of growing of $\text{MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$ particles with structure of core-shell type. Below: SEM images of molybdenum oxide particles intercalated with ATA (a) before and (b) after deposition of oligooxometalate shell

Исследование удерживающей способности частиц $\text{MoO}_3\text{:ATA}$ показало, что в контакте с водной средой последние теряют интеркалированный азол (рис. 2, а), причем в кислой ($\text{pH} < 4$) и щелочной ($\text{pH} > 8$) среде скорость выделения АТА возрастает, что является следствием частичного растворения оксидного каркаса. В то же время нанесение оболочки из продуктов конденсации вольфрамовой оксокислоты полностью блокирует выделение интеркалированного азота из ядра в диапазоне $\text{pH} 5,5\text{--}8,5$ (рис. 2, а).

С другой стороны, при больших ($\text{pH} < 5,5$) и меньших ($\text{pH} > 8,5$) значениях кислотности среды наблюдается выделение АТА из ядра контейнерной структуры $\text{MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$ (хотя и с меньшей скоростью, чем в случае исходных частиц $\text{MoO}_3\text{:ATA}$). Следствием этого является характерная колоколообразная pH -зависимость скорости истечения инкапсулированного соединения, аналогичная наблюдающейся в случае традиционных полиэлектролитных капсул на основе органических полимеров [12]. В отличие от формирующих такие капсулы электростатических ассоциатов полианионов и поликатионов, претерпевающих при изменении pH конформационные превращения, которые приводят к изменению проницаемости полиэлектролитных оболочек, открытие контейнерных структур с оболочкой на основе продуктов полимеризации оксокислоты связано с превращениями диссоциативного типа. Указанные превращения сопровождаются

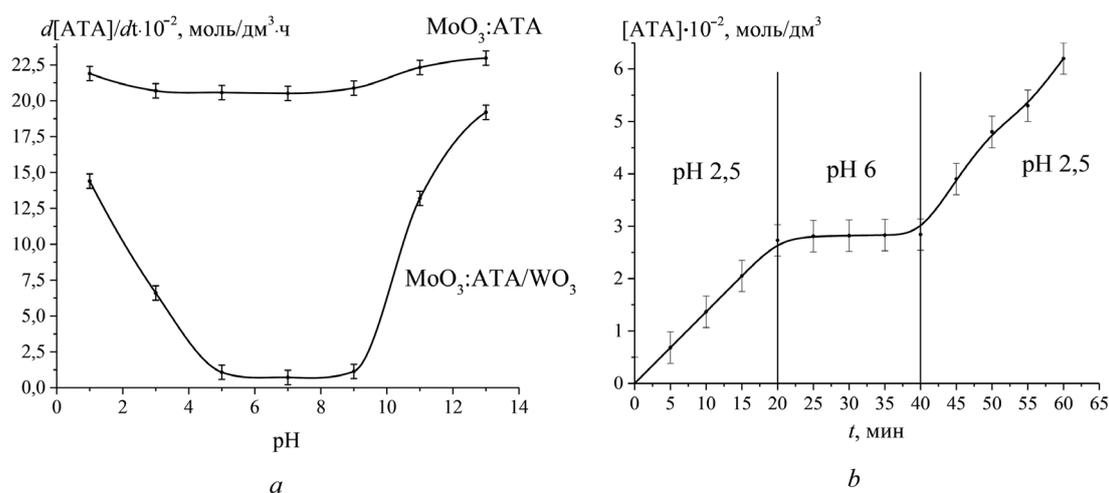


Рис. 2. Зависимость скорости выделения АТА из частиц $MoO_3:ATA$ и $MoO_3:ATA/WO_3$ от кислотности контактирующего раствора (а); количество АТА, перешедшего из частиц $MoO_3:ATA/WO_3$ в раствор при изменении кислотности среды (б)

Fig. 2. The rate of ATA emission from $MoO_3:ATA$ and $MoO_3:ATA/WO_3$ particles as a function of the acidity of contacting solution (a); the amount of ATA leaving $MoO_3:ATA/WO_3$ particles due to variations of acidity (b)

уменьшением компактности олигооксометаллатной оболочки, но не приводят к ее полной деградации (проницаемость оболочки снижается при изменении pH от 2,5 до 6 и восстанавливается при повторном снижении кислотности среды до pH 2,5 (рис. 2, б)).

Сохранению олигооксометаллатной оболочки способствует ее химическая пришивка к ядру на стадии сольвотермического осаждения продуктов полимеризации вольфрамовой кислоты, о чем свидетельствует наличие в ИК-спектре частиц $MoO_3:ATA/WO_3$ полосы поглощения в области 770 см^{-1} , соответствующей колебаниям связи $-Mo-O-W-$ (рис. 3).

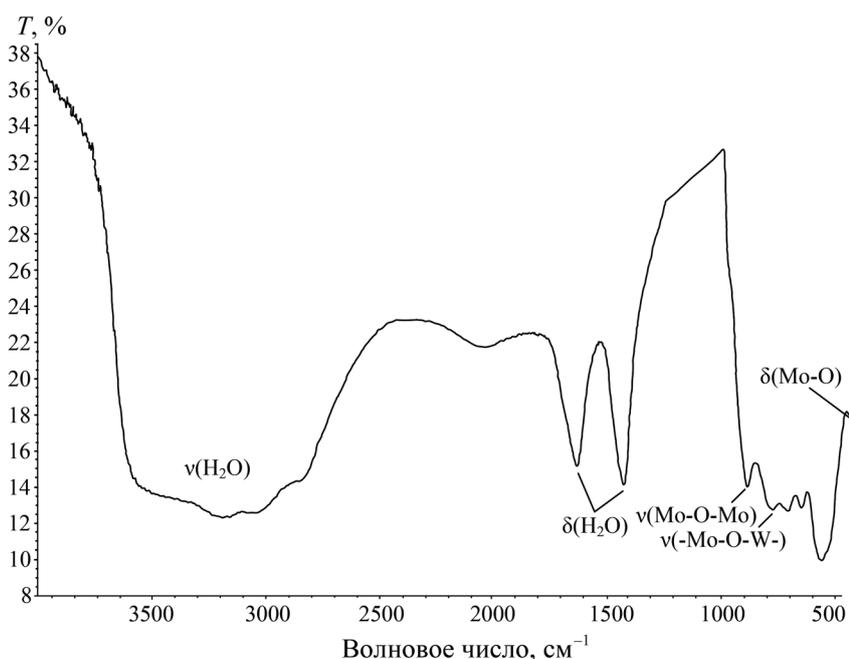


Рис. 3. ИК-спектр частиц $MoO_3:ATA/WO_3$

Fig. 3. IR-spectrum of $MoO_3:ATA/WO_3$

Продукты поликонденсации вольфрамовой кислоты, формирующие оболочку контейнерной структуры $\text{MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$, обладают выраженной редокс-активностью [13], что создает благоприятные условия для их соосаждения с гальваническим никелем, осуществляющегося в этом случае по редокс-механизму [14; 15]. Возможность реализации указанного механизма обеспечивает эффективный захват оксидных частиц гальваническим осадком, что позволяет проводить осаждение никель-матричного композита с высоким содержанием инкорпорированных частиц $\text{MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$ (достигающим 1,8 мас. %) из разбавленного суспензионного электролита. Полученное в результате электрохимического осаждения никель-матричное покрытие обеспечивает высокий уровень защиты от химической коррозии в контакте с депассивирующими водными растворами. Спектры электрохимического импеданса, полученные в хлоридном электролите (рис. 4), свидетельствуют о том, что при переходе от гальванического никелевого покрытия к композиционному покрытию $\text{Ni-MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$ наблюдается резкое повышение величины сопротивления переносу заряда и, следовательно, подавление коррозионного процесса. Указанный эффект обусловлен выделением инкапсулированного ингибитора коррозии из контейнерных структур при изменении pH поверхности в результате развития коррозии. Дополнительную роль в подавлении коррозионного процесса могут также играть продукты деполимеризации образующих контейнерные структуры материалов (поливольфраматы и полимолибдаты), обладающие самостоятельным ингибирующим действием [15]. О наличии эффектов такого рода свидетельствует наблюдающееся в импедансных спектрах дополнительное увеличение электрического сопротивления переносу заряда при включении частиц $\text{MoO}_3\text{/WO}_3$ в пленку гальванического никеля (рис. 4).

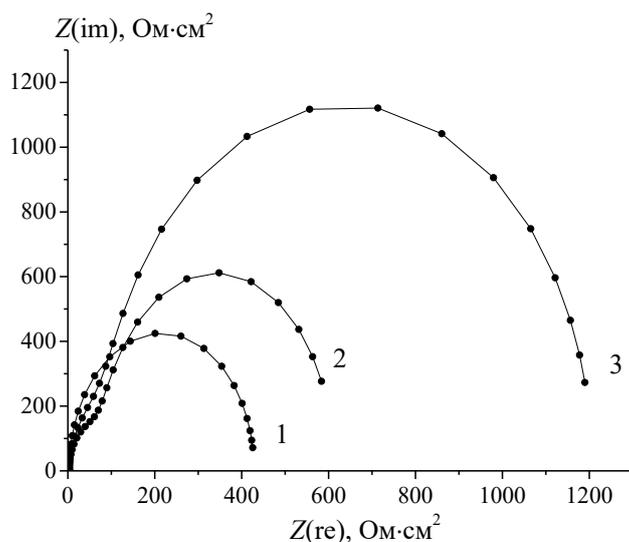


Рис. 4. Спектр импеданса в координатах Найквиста для пленок гальванического никеля (1), никель-матричных композитов $\text{Ni-MoO}_3\text{/WO}_3$ (2) и $\text{Ni-MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$ (3)

Fig. 4. Nyquist plots for: galvanic nickel (1); nickel-matrix composite $\text{Ni-MoO}_3\text{/WO}_3$ (2); nickel-matrix composite $\text{Ni-MoO}_3\text{:ATA/WO}_3$ (3)

Таким образом, использование в качестве основы контейнерной структуры частиц интеркалированных азолами оксидов и формирование на их поверхности pH-чувствительных оболочек за счет поликонденсации вольфрамовой кислоты открывает возможность создания защитных покрытий в виде композитов (в том числе металл-матричных), способных выделять ингибитор коррозии в условиях развития коррозионного процесса. Такой подход, в силу своей универсальности, может быть использован для создания полифункциональных контейнерных покрытий, являющихся носителями различных соединений: ингибиторов коррозии, индикаторов развития коррозионного процесса, биоцидных соединений, обеспечивающих подавление биокоррозии.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ (грант X20P-073). Е. В. Скорб выражает признательность РФФИ за поддержку (грант 20-53-00043).

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the BRFFR (grant no. X20P-073). E. V. Skorob is grateful to the RFBR for support (grant no. 20-53-00043).

Список использованных источников

1. Nazeer, A. A. Potential use of smart coatings for corrosion protection of metals and alloys: A review / A. A. Nazeer, M. Madkour // *J. Mol. Liq.* – 2018. – Vol. 253. – P. 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.027>
2. Layer-by-layer assembled nanocontainers for self-healing corrosion protection / D. G. Shchukin [et al.] // *Adv. Mater.* – 2006. – Vol. 18, N 13. – P. 1672–1678. <https://doi.org/10.1002/adma.200502053>
3. Oxide nanoparticle reservoirs for storage and prolonged release of the corrosion inhibitors / M. L. Zheludkevich [et al.] // *Electrochem. Commun.* – 2005. – Vol. 7, N 8. – P. 836–840. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2005.04.039>
4. Novel inorganic host layered double hydroxides intercalated with guest organic inhibitors for anticorrosion applications / S. K. Poznyak [et al.] // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* – 2009. – Vol. 1, N 10. – P. 2353–2362. <https://doi.org/10.1021/am900495r>
5. pH-Responsive zeolitic imidazole framework nanoparticles with high active inhibitor content for self-healing anticorrosion coatings / S. Yang [et al.] // *Colloids Surf., A.* – 2018. – Vol. 555. – P. 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.06.035>
6. Comparative study of the effect of halloysite nanocontainers on autonomic corrosion protection of polyepoxy coatings on steel by salt-spray tests / E. Shchukina [et al.] // *Prog. Org. Coat.* – 2017. – Vol. 108. – P. 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.03.018>
7. Corrosion inhibition and adsorption properties of 3-amino-1,2,3-triazole on mild steel in H_3PO_4 / L. Malki Alaoui [et al.] // *Pharm. Chem.* – 2011. – Vol. 3. – P. 353–360.
8. Solvothermally-derived MoO_3 -benzotriazole hybrid structures for nanocontainer depot systems / A. S. Logvinovich [et al.] // *New J. Chem.* – 2020. – Vol. 44, N 26. – P. 11131–11136. <https://doi.org/10.1039/d0nj02326d>
9. EPR Study on the intercalation of azoles into transition metal oxides / E. A. Konstantinova [et al.] // *Appl. Magn. Reson.* – 2020. – Vol. 51, N 9–10. – P. 1079–1092. <https://doi.org/10.1007/s00723-020-01205-1>
10. Lowenheim, F. A. Modern electroplating / F. A. Lowenheim, J. Davis // *J. Electrochem. Soc.* – 1974. – Vol. 121, N 12. – P. 397C. <https://doi.org/10.1149/1.2402361>
11. Sviridova, T. V. Nano- and microcrystals of molybdenum trioxide and metal–matrix composites on their basis / T. V. Sviridova, L. I. Stepanova, D. V. Sviridov // *Molybdenum: Characteristics, Production and Applications* / ed. by M. Ortiz [et al.]. – New York, 2012. – P. 147–179.
12. pH-Controlled macromolecule encapsulation in and release from polyelectrolyte multilayer nanocapsules / G. B. Sukhorukov [et al.] // *Macromol. Rapid Commun.* – 2001. – Vol. 22, N 1. – P. 44–46. [https://doi.org/10.1002/1521-3927\(20010101\)22:1%3C44::aid-marc44%3E3.0.co;2-u](https://doi.org/10.1002/1521-3927(20010101)22:1%3C44::aid-marc44%3E3.0.co;2-u)
13. Nanoengineered thin-film $TiO_2/h-MoO_3$ photocatalysts capable to accumulate photoinduced charge / T. V. Sviridova [et al.] // *J. Photochem. Photobiol., A.* – 2016. – Vol. 327. – P. 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2016.04.018>
14. Sviridova, T. V. Electrochemical synthesis of Ni– MoO_3 composite films: redox-mediated mechanism of electrochemical growth of metal–matrix composite / T. V. Sviridova, L. I. Stepanova, D. V. Sviridov // *J. Solid State Electrochem.* – 2012. – Vol. 16, N 12. – P. 3799–3803. <https://doi.org/10.1007/s10008-012-1816-2>
15. Sviridova, T. V. Electrochemical growing of Ni– MoO_3 nanocomposite coatings via redox mechanism / T. V. Sviridova, A. S. Logvinovich, D. V. Sviridov // *Surf. Coat. Technol.* – 2017. – Vol. 319. – P. 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.03.041>

References

1. Nazeer A. A., Madkour M. Potential use of smart coatings for corrosion protection of metals and alloys: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 2018, vol. 253, pp. 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.027>
2. Shchukin D. G., Zheludkevich M., Yasakau K., Lamaka S., Ferreira M. G. S., Mohwald H. Layer-by-layer assembled nanocontainers for self-healing corrosion protection. *Advanced Materials*, 2006, vol. 18, no. 13, pp. 1672–1678. <https://doi.org/10.1002/adma.200502053>
3. Zheludkevich M. L., Serra R., Montemor M. F., Ferreira M. G. Oxide nanoparticle reservoirs for storage and prolonged release of the corrosion inhibitors. *Electrochemistry Communications*, 2005, vol. 7, no. 8, pp. 836–840. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2005.04.039>
4. Poznyak S. K., Tedim J., Rodrigues L. M., Salak A. N., Zheludkevich M. L., Dick L. F. P., Ferreira M. G. S. Novel inorganic host layered double hydroxides intercalated with guest organic inhibitors for anticorrosion applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2009, vol. 1, no. 10, pp. 2353–2362. <https://doi.org/10.1021/am900495r>
5. Yang S., Wang J., Mao W., Zhang D., Guo Y., Song Y., Wang J.-P., Li G. L. pH-Responsive zeolitic imidazole framework nanoparticles with high active inhibitor content for self-healing anticorrosion coatings. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2018, vol. 555, pp. 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.06.035>
6. Shchukina E., Grigoriev D., Sviridova T., Shchukin D. Comparative study of the effect of halloysite nanocontainers on autonomic corrosion protection of polyepoxy coatings on steel by salt-spray tests. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 108, pp. 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.03.018>
7. Malki Alaoui L., Hammouti B., Bellaouchou A., Benbachir A., Guenbour A., Kertit S. Corrosion inhibition and adsorption properties of 3-amino-1,2,3-triazole on mild steel in H_3PO_4 . *Pharmaceutical Chemistry*, 2011, vol. 3, pp. 353–360.

8. Logvinovich A. S., Sviridova T. V., Konstantinova E. A., Kokorin A. I., Sviridov D. V. Solvothermally-derived MoO₃-benzotriazole hybrid structures for nanocontainer depot systems. *New Journal of Chemistry*, 2020, vol. 44, no. 26, pp. 11131–11136. <https://doi.org/10.1039/d0nj02326d>
9. Konstantinova E. A., Kokorin A. I., Logvinovich A. S., Sviridova T. V., Degtyarev E. N., Sviridov D. V. EPR Study on the intercalation of azoles into transition metal oxides. *Applied Magnetic Resonance*, 2020, vol. 51, no. 9–10, pp. 1079–1092. <https://doi.org/10.1007/s00723-020-01205-1>
10. Lowenheim F. A., Davis J. Modern electroplating. *Journal of Electrochemical Society*, 1974, vol. 121, no. 12, pp. 397C. <https://doi.org/10.1149/1.2402361>
11. Sviridova T. V., Stepanova L. I., Sviridov D. V. Nano- and microcrystals of molybdenum trioxide and metal–matrix composites on their basis. Ortiz M. [et al.], ed. *Molybdenum: Characteristics, Production and Applications*. New York, 2012, pp. 147–179.
12. Sukhorukov G. B., Antipov A. A., Voight A., Donath E., Mohwald H. pH-Controlled macromolecule encapsulation in and release from polyelectrolyte multilayer nanocapsules. *Macromolecular Rapid Communications*, 2001, vol. 22, no. 1, pp. 44–46. [https://doi.org/10.1002/1521-3927\(20010101\)22:1%3C44::aid-marc44%3E3.0.co;2-u](https://doi.org/10.1002/1521-3927(20010101)22:1%3C44::aid-marc44%3E3.0.co;2-u)
13. Sviridova T. V., Sadovskaya L. Y., Shchukina E. M., Logvinovich A. S., Shchukin D. G., Sviridov D. V. Nanoengineered thin-film TiO₂/h-MoO₃ photocatalysts capable to accumulate photoinduced charge. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2016, vol. 327, pp. 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2016.04.018>
14. Sviridova T. V., Stepanova L. I., Sviridov D. V. Electrochemical synthesis of Ni–MoO₃ composite films: redox-mediated mechanism of electrochemical growth of metal–matrix composite. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 2012, vol. 16, no. 12, pp. 3799–3803. <https://doi.org/10.1007/s10008-012-1816-2>
15. Sviridova T. V., Logvinovich A. S., Sviridov D. V. Electrochemical growing of Ni–MoO₃ nanocomposite coatings via redox mechanism. *Surface and Coatings Technology*, 2017, vol. 319, pp. 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.03.041>

Информация об авторах

Логвинович Александр Сергеевич – канд. хим. наук, доцент. Белорусский государственный университет (пр. Независимости, 4, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: logvinovich2357@gmail.com.

Свиридова Татьяна Викторовна – д-р хим. наук, профессор. Белорусский государственный университет (пр. Независимости, 4, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: sviridova@bsu.by.

Скорб Екатерина Владимировна – канд. хим. наук, доцент, директор. Научно-образовательный центр информатики Университета ИТМО (ул. Ломоносова, 9, 191002, Санкт-Петербург, Российская Федерация). E-mail: skorb@itmo.ru.

Свиридов Дмитрий Вадимович – член-корреспондент, д-р хим. наук, профессор, декан. Белорусский государственный университет (пр. Независимости, 4, 220050, Минск, Республика Беларусь). E-mail: sviridov@bsu.by.

Агабеков Владимир Енокович – академик, д-р хим. наук, профессор, почетный директор. Институт химии новых материалов НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 36, 220141, Минск, Республика Беларусь). E-mail: agabekov@ichnm.by.

Information about the authors

Logvinovich Alexander S. – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: logvinovich2357@gmail.com.

Sviridova Tatiana V. – D. Sc. (Chemistry), Professor. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sviridova@bsu.by.

Skorb Ekaterina V. – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, Director. Infochemistry Scientific Center of the ITMO University (9, Lomonosov Str., St. Petersburg, 191002, Russian Federation). E-mail: skorb@itmo.ru.

Sviridov Dmitry V. – Corresponding Member, D. Sc. (Chemistry), Professor, Dean of the Faculty. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220050, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sviridov@bsu.by.

Agabekov Vladimir E. – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Honorary Director. Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus (36, F. Skorina Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: agabekov@ichnm.by.