

УДК 546+666

## ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, ГИБРИДНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ<sup>1</sup>

© 2024 г. Е. П. Симоненко<sup>a</sup>, \*, В. К. Иванов<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,  
Ленинский пр-т, 31, Москва, 119991 Россия

\*e-mail: ep\_simonenko@mail.ru

Поступила в редакцию 24.01.2024 г.

После доработки 24.01.2024 г.

Принята к публикации 31.01.2024 г.

Обобщены итоги Седьмой международной конференции стран СНГ “Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем “Золь-гель 2023”, проанализированы доклады, представленные в рамках научных секций конференции: теоретические аспекты золь-гель процесса; пленки, покрытия и мембраны, полученные с применением золь-гель технологии; гибридные органо-неорганические золь-гель материалы; ксерогели, стекла и объемные керамические материалы, синтезированные золь-гель методом; нано- и микроструктурированные материалы, нанотехнологии; методы исследования структуры и свойств материалов, полученных с использованием золь-гель синтеза.

*Ключевые слова:* конференция, междисциплинарные связи, научное сотрудничество

DOI: 10.31857/S0044457X24040017, EDN: ZZGUGI

Золь-гель процессы благодаря своим уникальным особенностям, в частности возможности получения широкого круга функциональных и конструкционных материалов, находят широкое применение в различных областях промышленности [1–6] (рис. 1). Чрезвычайно распространено применение данного метода для получения высоко- и нанодисперсных оксидов металлов [1, 7–11], используемых в оптике, электронике, энергетике, в составе композиционных материалов прикладного назначения. Золь-гель синтез позволяет получать высокоэффективные катализаторы и носители катализаторов с развитой поверхностью [12, 13], темплаты для направленного форматирования заданной микроструктуры твердофазных продуктов [14], сорбенты для выделения из растворов ценных компонентов, в том числе материалы для иммобилизации отходов атомной промышленности [15–17]. В последние годы большое распространение получил такой вид пористых материалов, как аэрогели [18–22], которые за счет гигантской удельной поверхности

находят применение для решения экологических проблем, например, для ликвидации разливов нефтепродуктов. Особенности золь-гель метода позволяют существенно снизить температуры синтеза неорганических веществ и консолидации керамических материалов и стекол, в том числе медицинского назначения [23–31]. Еще одним традиционным направлением применения золь-гель процессов является формирование равномерных и сплошных покрытий на основе оксидов металлов [32–34], а также композиционных и гибридных органо-неорганических составов [34–38].

Высокая востребованность золь-гель синтеза связана не только с тем, что в результате него образуются нанодисперсные продукты, но и с возможностью контроля скорости химических превращений практически на всех стадиях синтеза, а также управления микроструктурой образующихся частиц и пористостью керамических материалов [39].

Динамичное развитие золь-гель технологий в России и мире приводит к необходимости

<sup>1</sup> Материалы номера подготовлены по итогам Седьмой международной конференции стран СНГ “Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем “Золь-гель 2023”, <https://sol-gel.ru/>



**Рис. 1.** Секции классификатора Chemical Abstracts, к которым отнесены недавние обзорные работы по золь-гель процессам (с 2015 г.), по данным CAS SciFinder<sup>®</sup>, январь 2024 г.

организации научных мероприятий, позволяющих ученым, технологам и потребителям высокотехнологичной продукции поделиться последними идеями и достижениями, активизировать взаимодействие между исследователями и производителями. С этой целью в период с 28 августа по 1 сентября 2023 г. на базе Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук при поддержке Научного совета РАН по неорганической химии, Научного совета РАН по химической технологии, Научного совета РАН по керамическим и стеклообразным материалам, Российского керамического общества состоялась Седьмая международная конференция стран СНГ “Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем “Золь-гель 2023”.

В работе конференции приняли участие более 120 ученых из России, Узбекистана, Казахстана, Белоруссии, Азербайджана, Китая (рис. 2), среди которых академики и члены-корреспонденты РАН, сотрудники научных, образовательных и производственных организаций, включая большое количество молодых ученых. В ходе работы конференции были заслушаны и обсуждены 11 пленарных докладов ведущих ученых в данной области, а также 38 устных и 40 постерных докладов.

В частности, д. х. н., проф. О.А. Шилова (НИЦ КИ – ИХС РАН, Санкт-Петербург) ознакомила участников с возможностями золь-гель методов для агротехнологий.

Сообщение д. х. н., проф. О.Н. Рузимурадова (ТТПУ, Ташкент) было посвящено синтезу и исследованию адсорбционных свойств по отношению к ионам лития и стабильности модифицированных литий-марганцевых шпинелей.

Возможности золь-гель технологии для создания ультравысокотемпературной керамики для освоения космического пространства были освещены в докладе д. х. н. Е.П. Симоненко (ИОНХ РАН, Москва).

В объемном и содержательном докладе чл.-корр. РАН Ю.А. Щипунова (ИХ ДВО РАН, Владивосток) раскрыты особенности золь-гель синтеза с применением полифенолов в качестве темплата и функционального компонента.

О перспективах использования аэрозолей водных растворов солей металлов как прекурсоров в процессе получения открытых микрокапсул со стенками из нанокристаллов оксигидроксидов металлов рассказал в своем сообщении д. х. н., проф. В.П. Толстой (СПбГУ, Санкт-Петербург).

Фундаментальные аспекты золь-гель процесса в пероксидных системах были подробно



**Рис. 2.** Участники Седьмой международной конференции стран СНГ “Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем “Золь-гель 2023”.

рассмотрены в докладе д.х.н. П.В. Приходченко (ИОНХ РАН, Москва).

Особенностям совмещения жидкофазных методов синтеза неорганических наноматериалов с печатными технологиями при формировании функциональных пленок было посвящено сообщение к. х. н. Н.П. Симоненко (ИОНХ РАН, Москва).

С фундаментальными основами применения метода малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов для диагностики структуры и магнитных свойств золь-гель наноматериалов ознакомил участников конференции Г.П. Копица (ПИЯФ – НИЦ “Курчатовский институт”, Гатчина).

К онлайн-секции также был отмечен значительный интерес участников благодаря высокой квалификации докладчиков. Так, д. х. н., проф. В.М. Михальчук (ДонНУ, Донецк) сообщил о процессах получения упрощенным золь-гель методом эпоксино-неорганических нанокомпозитов. Доклад д. х. н. Т.Г. Хониной (ИОС УрО РАН, Екатеринбург) был посвящен изучению потенциальной активности моноглицеролата железа(III) при биомедицинском применении. Синтез катализаторов на основе кремнезема SBA-15, допированного оксидами металлов, в присутствии фторида аммония был рассмотрен в сообщении д. х. н., проф. С.Д. Киррика (СФУ, Красноярск).

В рамках конференции успешно проведена Школа молодых ученых, заслушаны лекции ведущих специалистов, работы которых в области золь-гель технологии, коллоидной и неорганической химии, нанотехнологий хорошо известны в научном мире. В частности, д. х. н., проф. Н.А. Шабановой (РХТУ, Москва) прочитана фундаментальная лекция по генезису лиофильности и агрегативной устойчивости коллоидного кремнезема. Ионогелям на основе ионных жидкостей и глин была посвящена глубокая и ориентированная на практическое применение лекция д. х. н., проф. А.В. Агафонова (ИХР РАН, Иваново). Лекция д. х. н., доц. О.В. Альмяшевой (СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, Санкт-Петербург) раскрыла основы формирования нанокристаллических фаз на основе тугоплавких оксидов методами низкотемпературного синтеза. В рамках Школы был также проведен конкурс докладов молодых ученых, дипломами награждены 8 устных и 11 стендовых докладов. Проведен ряд экскурсий по Центру коллективного пользования ИОНХ РАН (ЦКП ИОНХ РАН) с целью расширения доступа к высокотехнологическому научному оборудованию молодых ученых из различных организаций.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Оргкомитет конференции благодарит Министерство науки и высшего образования РФ, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова

РАН, Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Научный совет РАН по неорганической химии, Научный совет РАН по химической технологии, Научный совет РАН по керамическим и стеклообразным материалам, Российское керамическое общество, ООО “МЕСОЛ” за поддержку и всестороннюю помощь в организации и проведении мероприятия.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Parashar M., Shukla V.K., Singh R. // J. Mater. Sci. – Mater. Electron. 2020. V. 31. № 5. P. 3729. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-02994-8>
2. Gorobtsov F.Y., Grigoryeva M.K., Simonenko T.L. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. № 11. P. 1706. <https://doi.org/10.1134/S0036023622601131>
3. Lermontov S.A., Baranchikov A.E., Sipyagina N.A. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 2. P. 255. <https://doi.org/10.1134/S0036023620020084>
4. Shilova O.A., Panova G.G., Mjakin V.S. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. № 5. P. 765. <https://doi.org/10.1134/S0036023621050181>
5. Rashid A. Bin, Shishir S.I., Mahfuz M.A. et al. // Part. Syst. Charact. 2023. V. 40. № 6. <https://doi.org/10.1002/ppsc.202200186>
6. Danks A.E., Hall S.R., Schnepf Z. // Mater. Horizons. 2016. V. 3. № 2. P. 91. <https://doi.org/10.1039/C5MH00260E>
7. Pant B., Park M., Park S.-J. // Coatings. 2019. V. 9. № 10. P. 613. <https://doi.org/10.3390/coatings9100613>
8. Mjakin S.V., Nikolaev A.M., Khamova T.V. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 4. P. 626. <https://doi.org/10.1134/S0036023620040129>
9. Simonenko T.L., Simonenko N.P., Gorobtsov P.Y. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. № 14. P. 2045. <https://doi.org/10.1134/S0036023621140138>
10. Mokrushin A.S., Gorban Y.M., Simonenko N.P. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. № 4. P. 594. <https://doi.org/10.1134/S0036023621040173>
11. Agafonov A.V., Grishina E.P. // Russ. J. Inorg. Chem. 2019. V. 64. № 13. P. 1641. <https://doi.org/10.1134/S0036023619130023>
12. Rex A., dos Santos J.H.Z. // J. Sol-Gel Sci. Technol. 2023. V. 105. № 1. P. 30. <https://doi.org/10.1007/s10971-022-05975-x>
13. Mohammadi M., Khodamorady M., Tahmasbi B. et al. // J. Ind. Eng. Chem. 2021. V. 97. P. 1. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.02.001>
14. Nisticò R., Scalarone D., Magnacca G. // Microporous Mesoporous Mater. 2017. V. 248. P. 18. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2017.04.017>
15. Papynov E.K., Shichalin O.O., Buravlev I.Y. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 2. P. 263. <https://doi.org/10.1134/S0036023620020138>
16. Kaur H., Kaushal S., Kumar S. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 12. P. 1862. <https://doi.org/10.1134/S0036023620120062>
17. Shehata M.M., Youssef W.M., Mahmoud H.H. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 2. P. 279. <https://doi.org/10.1134/S0036023620020163>
18. Parale V.G., Lee K.-Y., Park H.-H. // J. Korean Ceram. Soc. 2017. V. 54. № 3. P. 184. <https://doi.org/10.4191/kcers.2017.54.3.12>
19. Polevoi L.A., Kolesnik I.V., Kopitsa G.P. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2023. V. 68. № 12. P. 1848. <https://doi.org/10.1134/S0036023623602209>
20. Baranchikov A.E., Kopitsa G.P., Yorov K.E. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. № 6. P. 874. <https://doi.org/10.1134/S003602362106005X>
21. Rechberger F., Niederberger M. // Nanoscale Horizons. 2017. V. 2. № 1. P. 6. <https://doi.org/10.1039/C6NH00077K>
22. Lermontov S.A., Straumal E.A., Mazilkin A.A. et al. // J. Phys. Chem. C. 2016. V. 120. № 6. P. 3319. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b10461>
23. Song X., Segura-Egea J.J., Díaz-Cuenca A. // Molecules. 2023. V. 28. № 19. P. 6967. <https://doi.org/10.3390/molecules28196967>
24. Simonenko E.P., Simonenko N.P., Nagornov I.A. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. № 12. P. 1887. <https://doi.org/10.1134/S0036023621120172>
25. Simonenko E.P., Simonenko N.P., Nagornov I.A. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. № 5. P. 747. <https://doi.org/10.1134/S003602362105020X>
26. Simonenko E.P., Simonenko N.P., Gordeev A.N. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 10. P. 1596. <https://doi.org/10.1134/S0036023620100198>
27. Simonenko E.P., Simonenko N.P., Nikolaev V.A. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2019. V. 64. № 11. <https://doi.org/10.1134/S0036023619110202>
28. Lei Q., Guo J., Noureddine A. et al. // Adv. Funct. Mater. 2020. V. 30. № 41. P. 1909539. <https://doi.org/10.1002/adfm.201909539>
29. Kaur G., Pickrell G., Sriranganathan N. et al. // J. Biomed. Mater. Res., Part B: Appl. Biomater. 2016. V. 104. № 6. P. 1248. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33443>
30. Baino F., Fiume E., Miola M. et al. // Int. J. Appl. Ceram. Technol. 2018. V. 15. № 4. P. 841. <https://doi.org/10.1111/ijac.12873>
31. Deshmukh K., Kovářik T., Křenek T. et al. // RSC Adv. 2020. V. 10. № 56. P. 33782. <https://doi.org/10.1039/D0RA04287K>

32. *Amiri S., Rahimi A.* // Iran. Polym. J. 2016. V. 25. № 6. P. 559.  
<https://doi.org/10.1007/s13726-016-0440-x>
33. *Simonenko N.P., Nikolaev V.A., Simonenko E.P. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2016. V. 61. № 12. P. 1505.  
<https://doi.org/10.1134/S0036023616120184>
34. *Mahlrig B., Leisegang T., Jakubik M. et al.* // J. Sol-Gel Sci. Technol. 2023. V. 107. № 1. P. 20.  
<https://doi.org/10.1007/s10971-021-05558-2>
35. *Figueira R.B., Silva C.J.R., Pereira E.V.* // J. Coatings Technol. Res. 2015. V. 12. № 1. P. 1.  
<https://doi.org/10.1007/s11998-014-9595-6>
36. *Maleki H.* // Chem. Eng. J. 2016. V. 300. P. 98.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.098>
37. *Sumida K., Liang K., Reboul J. et al.* // Chem. Mater. 2017. V. 29. № 7. P. 2626.  
<https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.6b03934>
38. *Kim Y.H., Lee I., Lee H. et al.* // J. Sol-Gel Sci. Technol. 2023. V. 107. № 1. P. 32.  
<https://doi.org/10.1007/s10971-021-05491-4>
39. *Feinle A., Elsaesser M.S., Hüsing N.* // Chem. Soc. Rev. 2016. V. 45. № 12. P. 3377.  
<https://doi.org/10.1039/C5CS00710K>

## SOL-GEL SYNTHESIS AND RESEARCH OF INORGANIC COMPOUNDS, HYBRID FUNCTIONAL MATERIALS AND DISPERSE SYSTEMS

**E. P. Simonenko<sup>a,\*</sup>, V. K. Ivanov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, 119991 Russia*

<sup>\*</sup>*e-mail: ep\_simonenko@mail.ru*

The results are summarised of the Seventh International Conference of CIS countries “Sol-gel synthesis and research of inorganic compounds, hybrid functional materials and disperse systems “Sol-gel 2023”, the key reports are discussed within the scientific sections: Theoretical aspects of sol-gel process; Films, coatings and membranes obtained using sol-gel technology; Hybrid organic-inorganic sol-gel materials; Xerogels, glasses and bulk ceramic materials synthesized by sol-gel method; Nano- and microstructured materials, nanotechnology; Methods of research of structure and properties of materials obtained using sol-gel synthesis.

*Keywords:* conference, multidisciplinary links, scientific collaboration