

Заключение диссертационного совета МГУ.014.6
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук
Решение диссертационного совета от «30» сентября 2026 г. № 199

О присуждении Нестерову Сергею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора химических наук.

Диссертация «Физико-химические аспекты радиационной стойкости стронций-селективных макроциклических экстрагентов» по специальности 1.4.13. Радиохимия (химические науки) принята к защите диссертационным советом 20 мая 2026 года, протокол № 194.

Соискатель Нестеров Сергей Владимирович 1962 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук «Механизм γ -радиолиза макроциклических полиэфиров» защитил в 1992 году, в диссертационном совете, созданном на базе Научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я. Карпова.

Соискатель работает старшим научным сотрудником лаборатории радиационного модифицирования полимеров Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук».

Диссертация выполнена в лаборатории радиационного модифицирования полимеров Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук».

Научный консультант – доктор химических наук, профессор, **Фельдман Владимир Исаевич**, заведующий лабораторией химии высоких энергий кафедры электрохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Ананьев Алексей Владиленович, доктор химических наук, старший научный сотрудник, Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А.А. Бочвара», главный научный сотрудник научно-технологического отделения П-220;

Борисова Наталия Евгеньевна, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», химический факультет, ведущий научный сотрудник кафедры радиохимии;

Пономарев Александр Владимирович, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук», главный научный сотрудник лаборатории физико-химических методов локализации радиоактивных элементов - дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что **Ананьев Алексей Владиленович** является ведущим экспертом в радиохимии, в частности, в области разработки краун-содержащих экстракционных и экстракционно-хроматографических систем для селективного извлечения стронция и цезия из радиоактивных растворов и тестирования их термической и радиационной стойкости. **Борисова Наталия Евгеньевна**, известна как один из лидеров в области компьютерного дизайна и синтеза селективных комплексообразующих лигандов, применимых для переработки отработанного ядерного топлива. В сферу ее интересов, в частности, входит установление взаимосвязи структуры лиганда и его комплексообразующих и экстракционных свойств. **Пономарев Александр Владимирович** является общепризнанным специалистом в радиационной химии и радиационно-химической технологии. Одна из областей его научных интересов связана с оценкой влияния эффектов прямого и косвенного действия ионизирующего излучения на радиационную стойкость экстракционных систем, используемых при переработке отработанного ядерного топлива. Публикации официальных оппонентов близки по своей направленности к теме рассматриваемой работы.

Соискатель имеет 52 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 30 работ, из них 28 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.13. Радиохимия (химические науки) (личный вклад автора в публикацию указано в %):

1. Küçükyavuz S., **Nesterov S.V.**, Önal A.M. ESR study of radiation resistance of some aza- and thiacyclic ethers at 77 K // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1998. – vol. 230, № 1-2. – pp. 39-45. EDN: LEPSMT. Импакт-фактор 1,7 (SJR); 0,6 п.л. / 85%.
2. **Nesterov S.V.** Influence of heteroatom nature on the paths of formation of intermediates in gamma-irradiated cyclic ethers at 77 K // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1998. – vol. 230, № 1-2. – pp. 273-276. EDN: LEVMXX. Импакт-фактор 1,7 (SJR); 0,4 п.л. / 100%.
3. **Nesterov S.V.**, Panov O.Yu. Influence of polyether ring size and of the nature of substituents on the yields of paramagnetic centers in γ -irradiated mono- and dibenzosubstituted crown ethers at 77 K // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1998. – vol. 231, № 1-2. – pp. 87-93. EDN: LFAFXF. Импакт-фактор 1,7 (SJR); 0,7 п.л. / 90%.
4. **Nesterov S.V.**, Küçükyavuz S., Önal A.M. Radiation induced chain addition of allylbenzene to 1,4-dioxane // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1999. – vol. 240, № 3. – pp. 953-957. EDN: LFJUXL. Импакт-фактор 1,7 (SJR); 0,5 п.л. / 80%.
5. **Nesterov S.V.**, Küçükyavuz S., Önal A.M. Gamma-radiation initiated addition of allylbenzene to the morpholine // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 1999. – vol. 242, № 1. – pp. 91-96. EDN: LFPUMB. Импакт-фактор 1,7 (SJR); 0,6 п.л. / 80%.
6. **Нестеров С.В.** Краун-эфиры в радиохимии. Достижения и перспективы // Успехи химии. – 2000. – Т. 69, №9. – С. 840-855. EDN: MPFCEB. Импакт-фактор 3,877 (РИНЦ); 3,9 п.л. / 100%.
Nesterov S.V. Crown ethers in radiochemistry. Advances and prospects // Russian Chemical Reviews. – 2000. – vol. 69, № 9. – pp. 769-782. EDN: LGIRCZ. Импакт-фактор 7,1 (SJR); 3,9 п.л. / 100%.
7. **Нестеров С.В.**, Фельдман В.И., Белов Г.П. Особенности образования и реакций макрорадикалов в γ -облученном сополимере этилена с ацетиленом // Высокомолекулярные соединения, Серия А. – 2002. – Т. 44, № 9. – С. 1498-1505. EDN: EBKKEN. Импакт-фактор 0,9 (РИНЦ); 0,7 п.л. / 50%.
8. **S.V. Nesterov**, V.I. Feldman, G.P. Belov. Peculiarities of Formation and Reaction of Macroradicals in γ -irradiated Ethylene-Acetylene Copolymers // Polymer Science, Series A. – 2002. – V. 44, № 9. – pp. 947-953. EDN: LHLNTX. Импакт-фактор 1,2 (SJR); 0,7 п.л. / 50%.
8. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Feldman V.I. Radiation Chemical Synthesis of Polyethylene Oxide Hydrogel Containing DCH18C6 Crown Ether: A New Approach // Journal of Radioanalytical and

- Nuclear Chemistry. – 2004. – V. 261, № 2. – pp. 245-248. EDN: KEVOUX. Импорт-фактор 1,7 (SJR); 0,4 п.л. / 50%.
9. Закурдаева О.А., **Нестеров С.В.**, Фельдман В.И. Радиоллиз водных растворов полиэтиленоксида при 77 К // Химия высоких энергий. – 2005. – Т. 39, № 4. – С. 243-249. EDN: OPIFRZ. Импорт-фактор 0,270 (РИНЦ); 0,7 п.л. / 55%.
- Zakurdaeva O.A., Nesterov S.V., Feldman V.I. Radiolysis of Aqueous Solutions of Poly(ethylene oxide) at 77 K // High Energy Chemistry. – 2005. – V. 39, № 4. – pp. 201-206. EDN: LJLJLN. Импорт-фактор 0,6 (SJR); 0,7 п.л. / 50%.
10. Закурдаева О.А., **Нестеров С.В.**, Фельдман В.И. Радиальные продукты γ -радиоллиза 12-краун-4 при 77 К // Химия высоких энергий. – 2007. – Т. 41, № 2. – С. 95-101. EDN: HZUNDV. Импорт-фактор 0,270 (РИНЦ); 0,7 п.л. / 70%.
- Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Feldman V.I. / Radical Products of γ -Radiolysis of 12-Crown-4 at 77K // High Energy Chemistry. – 2007. – V. 41, № 2. – pp. 65-70. EDN: LKNQBN. Импорт-фактор 0,6 (SJR); 0,7 п.л. / 65%.
11. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Shmakova N.A., Semenova G.K., Sozontova E.O., Feldman V.I. Radiation-chemical synthesis of poly(vinyl alcohol) hydrogel containing dicyclohexano-18-crown-6 // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2007. – V. 265, № 1. – pp. 356-361. EDN: LKQOVR. Импорт-фактор 1,5 (SJR); 0,7 п.л. / 45%.
12. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Shmakova N.A., Feldman V.I. Radiation-chemical synthesis of crown-containing poly(ethylene oxide) hydrogels. Swelling behavior and crown ether retention // Radiation Physics and Chemistry. – 2008. – V. 77, № 1. – pp. 23-28. EDN: LLJHMJ. Импорт-фактор 3,5 (SJR); 0,7 п.л. / 45%.
13. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Feldman V.I. Radiolysis of aqueous DCH18C6 solutions at 77K // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2009. – V. 279, № 2. – pp. 647-653. EDN: LLUVIX. Импорт-фактор 1,7 (SJR); 0,8 п.л. / 65%.
14. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Feldman V.I. An ESR study of radiation-chemical transformation of 4,4'(5')-di-(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6 and its solution in 1-octanol at 77 K // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2010. – V. 284, № 3. – pp. 641-645. EDN: MXMKVL. Импорт-фактор 1,7 (SJR); 0,5 п.л. / 65%.
15. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Feldman V.I. Radiolysis of aqueous solutions of poly(vinyl alcohol) at 77 K // Radiation Physics and Chemistry. – 2010. – V. 79, № 8. – pp. 876-879. EDN: MXKEQJ. Импорт-фактор 3,5 (SJR); 0,65 п.л. / 55%.
16. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Feldman V.I. Radical intermediates of low temperature radiolysis of di-*tert*-butylcyclohexano-18-crown-6/1-octanol extractant // Radiochimica Acta. – 2013. – V. 101, № 1. – pp. 51-56. EDN: REYFRR. Импорт-фактор 1,7 (SJR); 0,8 п.л. / 65%.
17. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Feldman V.I. Localization of radiation damages in X-rays irradiated cis-syn-cis-dicyclohexano-18-crown-6 and its inclusion complex with BaCl₂ // Radiation Physics and Chemistry. – 2013. – V. 87. – pp. 40-45. EDN: RFCCLH. Импорт-фактор 3,5 (SJR); 0,9 п.л. / 65%.
18. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.** Improved extraction-spectrophotometric method for determination of dicyclohexano-substituted crown ethers in aqueous solutions // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2015. – V. 303, № 3. – pp. 1737-1744. EDN: UFQGDJ. Импорт-фактор 1,7 (SJR); 0,8 п.л. / 50%.
19. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Shmakova N.A., Sokolova N.A., Feldman V.I. / The low temperature radiolysis of cis-syn-cis-dicyclohexano-18-crown-6 complexes with alkaline earth metal nitrates: An evidence for energy transfer to the macrocyclic ligand // Radiation Physics and Chemistry. – 2015. – V. 115. – pp. 183–188. EDN: UEZXVV. Импорт-фактор 3,5 (SJR); 0,9 п.л. / 65%.
20. Zakurdaeva O.A. **Nesterov S.V.**, Feldman V.I. Stereoisomeric effect in low temperature radiolysis of dicyclohexano-18-crown-6 complexes with BaCl₂ // Radiation Physics and Chemistry. – 2017. – V. 130. – pp. 379–384. EDN: VJMMMF. Импорт-фактор 3,5 (SJR); 0,95 п.л. / 65%.
21. Zakurdaeva O.A., **Nesterov S.V.**, Sokolova N.A., Dorovatovskii P.V., Zubavichus Y.V., Khrustalev V.N., Asachenko A.F., Chesnokov G.A., Nechaev M.S., Feldman V.I. Evidence for Indirect Action of Ionizing Radiation in 18-Crown-6 Complexes with Halogenous Salts of Strontium: Simulation of Radiation-Induced Transformations in Ionic Liquid/Crown Ether Compositions // The Journal of Physical Chemistry B. – 2018. – V. 122, №6. – pp. 1992–2000. EDN: XXZOLR. Импорт-фактор 3,2 (SJR); 1,3 п.л. / 75%.

22. **Nesterov S.V.**, Zakurdaeva O.A., Kurkin T.S., Feldman V.I. / Role of anions in radiation-induced transformations of 18-crown-6 complexes with barium salts: simulating the effects of extraction mechanism on radiation stability of macrocyclic extractants // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2018. – V. 318, № 3. – pp. 1901–1911. EDN: RVRORJ. Импакт-фактор 1,7 (SJР); 1,3 п.л. / 65%.
23. **Nesterov S.V.**, Zakurdaeva O.A., Sokolova N.A., Feldman V.I. Conformational insight into radiation-chemical transformations of dicyclohexano-18-crown-6 complexes with alkaline earth metal chlorides: Effect of cation size // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2019. – V. 164. – 108368. EDN: ZMDYVY. Импакт-фактор 3,5 (SJР); 1,2 п.л. / 60%.
24. **Nesterov S.V.**, Zakurdaeva O.A., Sokolova N.A., Rychkov P.V., Feldman V.I. Radiation-induced macrocycle cleavage in crown ether complexes with Sr (II) and Y(III) chlorides: A comparative study // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2020. – V. 176. – 109023. EDN: QKYVMV. Импакт-фактор 3,5 (SJР); 1,1 п.л. / 60%.
25. **Нестеров С.В.**, Закурдаева О.А., Кочеткова М.А., Кучкина И.О. Радиальные каналы радиационной деструкции макроциклического компонента стронций-селективных экстрагентов на основе ионных жидкостей // *Известия Академии наук. Серия химическая*. – 2020. – № 7. – С. 1329–1335. EDN: EUYYSI. Импакт-фактор 1,035 (РИИЦ); 1,0 п.л. / 50%.
- Nesterov S.V.**, Zakurdaeva O.A., Kochetkova M.A., Kuchkina I.O. Radical channels of radiation destruction of macrocyclic component of strontium-selective extractants based on ionic liquids // *Russian Chemical Bulletin*. – 2020. – V. 69, № 7. – pp. 1329–1335. EDN: UOWUNQ. Импакт-фактор 1,7 (SJР); 1,0 п.л. / 50%.
26. **Nesterov S.V.**, Zakurdaeva O.A. Chemical aspects of the radiation stability of macrocyclic extractants designed for ⁹⁰Sr separation // *Mendelev Communications*. – 2021. – V. 31, № 1. – pp. 119–120. EDN: ZMYIPZ. Импакт-фактор 1,4 (SJР); 0,3 п.л. / 60%.
27. **Nesterov S.V.**, Zakurdaeva O.A., Sokolova N.A., Rychkov P.V., Feldman V.I. Evidence for effect of macrocycle symmetry on radiation-induced ring opening in 18-crown-6 complexes with alkali-earth metal halogenides // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2022. – V. 196. – 110135. EDN: CUVZCF. Импакт-фактор 3,5 (SJР); 1,0 п.л. / 65%.
28. Zakurdaeva O.A., Kuchkina I.O., Kurkin T.S., **Nesterov S.V.** Two-stage thermal decomposition of 18-crown-6 and dicyclohexano-18-crown-6 complexes with alkaline earth metal halides as evidence for non-equivalence of macrocycle symmetry // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2023. – V. 148, № 21. – pp. 11641–11651. EDN: WSDBTG. Импакт-фактор 4,1 (SJР); 1,3 п.л. / 50%.

Личный вклад автора состоял в выборе направления исследований, формулировке цели работы и постановке задач, анализе литературы, разработке и апробации методик эксперимента, проведении исследований лично или с соавторами под его руководством, обработке, интерпретации и обобщении полученных результатов, формулировке выносимых на защиту положений и выводов. Вклад автора в совместные публикации основополагающий.

На автореферат поступило 7 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований установлены фундаментальные закономерности радиационно-химических превращений краун-эфиров и многокомпонентных систем на их основе и предложена новая методология оценки радиационной стойкости стронций-селективных макроциклических экстрагентов. В результате реализации данного методологического подхода **впервые** 1) предложен механизм образования и пост-радиационных превращений основных радикальных продуктов радиолиза стронций-селективных макроциклических полиэфиров; 2) установлено, что сверхаддитивное накопление макроциклических радикалов в облученных

замороженных водных растворах дициклогексано-18-краун-6 (ДЦГ18К6) обусловлено реакцией полиэфирного кольца с ОН-радикалами; 3) изучены особенности радиационно-химической деструкции ди-трет-бутилциклогексано-18-краун-6 (ДтБЦГ18К6) в матрице 1-октанола при 77 К; 4) показано, что разница потенциалов ионизации краун-эфира и аниона определяет направление радиационно-химических превращений комплексов 18-краун-6 с галогенидами щелочноземельных металлов (ЩЗМ); 5) обнаружено влияние стереоизомерии молекулы на выход разрыва макроцикла при радиолизе ДЦГ18К6 и его комплексов с галогенидами ЩЗМ; 6) обнаружен канал деструкции макроцикла в комплексах ДЦГ18К6 с галогенидами ЩЗМ, протекающий на пост-радиационной стадии радиолиза и приводящий к образованию радикалов циклогексанонильного типа; 7) показано, что при радиолизе комплексов с нитратами ЩЗМ анионы NO_3^- обеспечивают эффективную защиту макроцикла от деструкции; 8) продемонстрировано, что протонирование ДЦГ18К6 приводит к увеличению радиационно-химического выхода радикальных продуктов его радиолиза; 9) предложены три основных сценария, моделирующие радиолиз краун-содержащего компонента стронций-селективной экстракционной системы на основе молекулярных растворителей и ионных жидкостей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные в ходе выполнения диссертационной работы данные позволили оценить вклад эффектов косвенного действия излучения и конформации молекулы в механизм радиационно-химических превращений макроциклов в растворах и комплексах с солями щелочноземельных металлов, а также связать потенциал ионизации анионного компонента комплекса, реакционную способность продуктов его радиолиза по отношению к макроциклической молекуле и тип симметрии макроцикла, с радиационной стойкостью полиэфирного кольца к разрыву. Это является важным для развития радиационной химии макроциклических экстрагентов и обеспечивает теоретическую значимость. Установленные в настоящей работе закономерности радиационно-химических превращений краун-эфиров в "свободном" состоянии, в растворах и в виде макроциклических комплексов необходимы для корректного описания и анализа процессов деструкции реальных краун-содержащих систем, подвергающихся воздействию ионизирующего излучения. Они позволяют оценить радиационную стойкость существующих макроциклических экстрагентов и открывают возможность целенаправленной разработки новых радиационно-стойких макроциклических систем, применимых для селективного извлечения радионуклидов из жидких радиоактивных отходов, что определяет практическую значимость работы.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. **Положения, выносимые на защиту**, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Предложенная общая методология оценки радиационной стойкости многокомпонентных макроциклических систем позволяет прогнозировать поведение краун-содержащих экстрагентов в полях ионизирующих излучений.

2. Радикальные продукты низкотемпературного радиолиза стронций-селективных краун-эфиров образуются в результате реакций первичных макроциклических катион-радикалов в различных состояниях, а также реакций атомов водорода с молекулой макроцикла.
3. Неаддитивное образование макроциклических радикалов при радиолизе замороженных растворов дициклогексанозамещенных краун-эфиров в воде и октаноле обусловлено реакцией полиэфирного кольца с радикальными продуктами, образовавшимися из растворителя.
4. Протонирование ДЦГ18К6 при взаимодействии с азотной кислотой или кислыми конечными продуктами радиолиза галогенированных растворителей приводит к усилению его радиационно-химической деструкции.
5. Защита макроцикла от разрыва на ранних стадиях радиолиза комплексов 18-краун-6 и ДЦГ18К6 с галогенсодержащими солями ЩЗМ обусловлена передачей положительного заряда от первичного макроциклического катион-радикала на галогенид-анион. Искажение симметрии макроцикла снижает его устойчивость к разрыву.
6. Включение катиона металла в макроциклическую полость комплексов ДЦГ18К6 с галогенидами ЩЗМ приводит к появлению дополнительного канала деструкции в результате перегруппировки радикала с разрывом макроцикла на пост-радиационной стадии радиолиза.
7. Радиационная стойкость макроциклического компонента стронций-селективных экстрагентов на основе растворов краун-эфиров в молекулярных растворителях и ионных жидкостях определяется механизмом переноса катиона металла в органическую фазу.

На заседании «30» сентября 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Нестерову С.В. ученую степень доктора химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.4.13. Радиохимия (химические науки), участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

_____/Пресняков И.А./

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат химических наук

_____/Северин А.В./

30.09.2026 г.