

Заключение диссертационного совета МГУ.014.6
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук
Решение диссертационного совета от «25» сентября 2024 г. № 125

О присуждении Сафонову Алексею Владимировичу, гражданину Российской Федерации ученой степени доктора химических наук.

Диссертация «Биогеохимический *in situ* барьер в загрязненных подземных водах на предприятиях ядерно-топливного цикла» по специальности 1.4.13. Радиохимия (химические науки) принята к защите диссертационным советом 26 июня 2024 г., протокол № 117.

Соискатель Сафонов Алексей Владимирович 1982 года рождения в 2004 году окончил биолого-химический факультет Московского Педагогического Государственного университета. В 2009 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук на тему «Экологические аспекты локализации жидких радиоактивных отходов в глубинном хранилище «Северный» по специальности 03.00.16 – Экология в диссертационном совете Д.212.204.14 при Российском химико-технологическом университете им. Д.И. Менделеева.

Соискатель работает в лаборатории химии технеция Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук», в должности ведущего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории химии технеция Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук».

Научный консультант – доктор биологических наук, **Назина Тамара Николаевна**, заведующий лабораторией нефтяной микробиологии, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

Поляков Евгений Валентинович – доктор химических наук, заведующий лабораторией физико-химических методов анализа, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт химии твёрдого тела Уральского отделения Российской академии наук»;

Бычков Андрей Юрьевич - доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор РАН заведующий кафедрой геохимии Геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;

Заварзина Дарья Георгиевна - доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории метаболизма экстремофильных прокариот Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук - дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что Поляков Евгений Валентинович является специалистом мирового уровня в области радиоэкологии и химии актинидов в объектах окружающей среды. Бычков Андрей Юрьевич является специалистом мирового уровня в области

геохимии подземных вод и биогеохимических процессов осадкообразования. Заварзина Дарья Георгиевна является крупным специалистом в области микробных циклов железа и серы, биогенного минералообразования и микробных сообществ экстремальных мест обитания. Публикации официальных оппонентов близки по своей направленности к теме рассматриваемой диссертационной работы.

Соискатель имеет 140 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 53 печатные работы, из них 37 статей, опубликованных в журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.13. Радиохимия (химические науки).

1. German K.E. Technetium sulfide-formation kinetics, structure and particle speciation / K.E. German, A.A. Shiryaev, A.V. Safonov, Y.A. Obruchnikova, V.A. Ilin, V.E. Tregubova // *Radiochimica Acta*. — 2015. — V. 103, № 3. — P. 199-203. (WoS, JIF 2,08; 0,3 п.л./65%)
2. Zinicovscaia I. Uptake of metals from single and multi-component systems by *Spirulina platensis* biomass / I. Zinicovscaia, A.V. Safonov, V. Tregubova, V. Ilin, L. Cepoi, T. Chiriac, L. Rudi, M.V. Frontasyeva // *Ecological Chemistry and Engineering S*. — 2016. — V. 23, № 3. — P. 401-412. (WoS, JIF 1,9; 0,8 п.л./70%)
3. Андрющенко Н.Д. Сорбционные характеристики материалов фильтрационного барьера в верхних водоносных горизонтах, загрязненных радионуклидами / Н.Д. Андрющенко, А.В. Сафонов, Т.Л. Бабич, П.В. Иванов, Ю.В. Коневник, А.А. Кондрашова, И.М. Прошин, Е.В. Захарова // *Радиохимия*. — 2017. — Т. 59, № 4. — С. 361–370. (IF РИНЦ 0,9) (Safonov A.V. Sorption characteristics of materials of the filtration barrier in upper aquifers contaminated with radionuclides/N. Andryushchenko, A.V. Safonov, T. Babich, P. Ivanov, Y.V. Konevnik, A. Kondrashova, I. Proshin, E. Zakharova // *Radiochemistry*. — 2017. — V. 59. — P. 414–424. (WoS, JIF 0,9; 0,6 п.л./70%))
4. Zinicovscaia I. Bioaccumulation and biosorption of some selected metals by bacteria *Pseudomonas putida* from single-and multi-component systems. / I. Zinicovscaia, A.V. Safonov, V. Tregubova, V. Ilin, M.V. Frontasyeva, L. Demina // *Desalination and Water Treatment*. — 2017. — V. 74. — P. 149-154. (WoS, JIF 1,6; 0,4 п.л./70%)
5. Novikov A.P. Speciation of actinides in groundwater samples collected near deep nuclear waste repositories / A.P. Novikov, I.E. Vlasova, A.V. Safonov, V.M. Ermolaev, E.V. Zakharova, St.N. Kalmykov // *Journal of Environmental Radioactivity*. — 2018. — V. 192. — P. 334-341. (WoS, JIF 2,6; 0,5 п.л./70%)
6. Safonov A.V. Comparative Study of Lanthanum, Vanadium, and Uranium Bioremoval Using Different Types of Microorganisms / A.V. Safonov, V. Tregubova, V. Ilin, K. Boldyrev, I. Zinicovscaia, M. Frontasyeva, T. Khijniak // *Water, Air, & Soil Pollution*. — 2018. — V. 229, № 3. — P. 82. (WoS, JIF 2,9; 0,8 п.л./75%)
7. Zinicovscaia I. Biosorption of Re (VII) from batch solutions and industrial effluents by cyanobacteria *Spirulina platensis* / I. Zinicovscaia, A.V. Safonov, I. Troshkina, L. Demina, K. German // *CLEAN—Soil, Air, Water*. — 2018. — V. 46, № 7. — P. 1700576. (WoS, JIF 2,4; 0,4 п.л./70%)
8. Safonov A.V. Microbial community and in situ bioremediation of groundwater by nitrate removal in the zone of a radioactive waste surface repository / A.V. Safonov, T.L. Babich, D.S. Sokolova, D.S. Grouzdev, T.P. Tourova, A.B. Poltarau, E.V. Zakharova, A.Y. Merkel, A.P. Novikov, T.N. Nazina // *Frontiers in Microbiology*. — 2018. — V. 9, № AUG. — P. 1985. (WoS, JIF 6,06; 0,9 п.л./75%)
9. Сафонов А.В. Биогенные факторы формирования геохимических урановых аномалий в районе шламохранилища Новосибирского завода химконцентратов / А.В. Сафонов, А.Е. Богуславский, К.А. Болдырев, Л.В. Зайцева // *Геохимия*. — 2019. — Т. 64, № 6. — С. 644–650. (IF РИНЦ 1,3) (Safonov A.V. Biogenic Factors of Formation of Geochemical Uranium Anomalies near the Sludge Storage of the Novosibirsk Chemical Concentrate Plant/ A.V. Safonov, A.E. Boguslavskii, K.A. Boldyrev, L.V. Zayceva // *Geochemistry International*. — 2019. — V. 57, № 6. — P. 709–715. (WoS, JIF 0,7; 0,4 п.л./50%))
10. Сафонов А.В. Биогенные факторы иммобилизации радионуклидов на песчаных породах верхних водоносных горизонтов / А.В. Сафонов, Н.Д. Андрющенко, П.В. Иванов, К.А. Болдырев, Т.Л. Бабич, К.Э. Герман, Е.В. Захарова // *Радиохимия*. — 2019. — Т. 61, № 1. — С. 63–71. (IF РИНЦ 0,9) (Safonov A.V. Biogenic Factors of Radionuclide Immobilization on Sandy Rocks of Upper Aquifers / A.V. Safonov, N.D. Andryushchenko, P.V. Ivanov, K.A. Boldyrev, T.L. Babich, K.E. German, E.V. Zakharova // *Radiochemistry*. — 2019. — V. 61, № 1. — P. 99–108. (WoS, JIF 0,9; 0,6 п.л./75%))

11. Zinicovscaia I. Metal ions removal from different type of industrial effluents using *Spirulina platensis* biomass / I. Zinicovscaia, A.V. Safonov, S. Ostalkevich, S. Gundorina, P. Nekhoroshkov, D. Grozdov // International journal of phytoremediation. — 2019. — V. 21, № 14. — P. 1442–1448. (WoS, JIF 4,0; 0,4 п.л./70%)
12. Новиков А.П. Биотрансформация нептуния в модельных подземных водах / А.П. Новиков, А.В. Сафонов, Т.Л. Бабич, К.А. Болдырев, Д.В. Крючков, Е.А. Лавринович, Е.В. Кузовкина, А.М. Емельянов, Т.А. Горяченкова // Геохимия. — 2020. — Т. 65, № 2. — С. 145–152. (IF РИНЦ 1,3) (Novikov A.P. Biotransformation of neptunium in model groundwaters Novikov A.P., Lavrinovich E.A., Kuzovkina E.V., Emel'yanov A.M., Goryachenkova T.A., Safonov A.V., Babich T.L., Boldyrev K.A., Kryuchkov D.V. Geochemistry International. 2020. V. 58. № 2. P. 182-188. (WoS, JIF, 0,7; 0,5 п.л./70%)
13. Ivanov P. Glucose-stimulation of natural microbial activity changes composition, structure and engineering properties of sandy and loamy soils / P. Ivanov, N. Manucharova, S. Nikolaeva, A. V. Safonov, V. Krupskaya, M. Chernov, K. Eusterhues, K.U. Totsche // Engineering geology. — 2020. — V. 265. — P. 105381. (WoS, JIF 7,4; 1,9 п.л./65%)
14. Boguslavsky A.E. Environmental monitoring of low-level radioactive waste disposal in electrochemical plant facilities in Zelenogorsk, Russia / A.E. Boguslavsky, O.L. Gaskova, O.S. Naymushina, N.M. Popova, A.V. Safonov // Applied Geochemistry. — 2020. — V. 119. — P. 104598. (WoS, JIF 3,4; 0,7 п.л./50%)
15. Safonov A.V. Structure and gene cluster of the O-polysaccharide from *Pseudomonas veronii* A-6-5 and its uranium bonding / A.V. Safonov, A.V. Perepelov, T.L. Babich, N.M. Popova, D.S. Grouzdev, A.V. Filatov, A.S. Shashkov, L.I. Demina, T.N. Nazina // International Journal of Biological Macromolecules. — 2020. — V. 165. — P. 2197–2204. (WoS, JIF 8,2; 0,5 п.л./75%)
16. Zinicovscaia I. Metal removal from nickel-containing effluents using mineral–organic hybrid adsorbent / I. Zinicovscaia, N. Yushin, D. Grozdov, K. Vergel, N. Popova, G. Artemiev, A.V. Safonov // Materials. — 2020. — V. 13, № 19. — P. 4462. (WoS, JIF 3,7; 1,3 п.л./70%)
17. Zinicovscaia I. Selective metal removal from chromium-containing synthetic effluents using *Shewanella xiamenensis* biofilm supported on zeolite. / I. Zinicovscaia, A.V. Safonov, K. Boldyrev, S. Gundorina, N. Yushin, O. Petuhov, N. Popova // Environmental Science and Pollution Research. — 2020. — V. 27, № 10. — P. 10495–10505. (WoS, JIF 5,8; 0,7 п.л./70%)
18. German K.E. Hypolimnion behavior of technetium in freshwater at various stages of eutrophication / K.E. German, A.V. Safonov, D.A. Zelenina, A.V. Sitanskaya, K.A. Boldyrev, E.V. Belova // Journal of Environmental Radioactivity. — 2021. — V. 237. — P. 106716. (WoS, JIF 2,6; 0,6 п.л./70%)
19. Perepelov A.V. Structure elucidation and gene cluster annotation of the O-antigen of *Pseudomonas veronii* SHC-8-1 containing 2-acetamido-2, 4, 6-trideoxy-4-(3, 5-dihydroxyhexanoylamino)-D-glucose / A.V. Perepelov, A.V. Filatov, A.S. Shashkov, D.S. Grouzdev, T.L. Babich, N.M. Popova, A.V. Safonov // Carbohydrate Research. — 2021. — V. 504. — P. 108306. (WoS, JIF 3,1; 0,3 п.л./60%)
20. Атыкян Н.А. Сорбенты на основе бактериальной целлюлозы для выделения Sr, U, Pu и Am из растворов / Н.А. Атыкян, В.В. Ревин, А.В. Сафонов, Я.Ю. Карасева, И.М. Прошин, В.В. Шутова // Радиохимия. — 2021. — Т. 63, № 5. — С. 476-483. (IF РИНЦ 0,9) (Safonov A.V. Sorbents Based on Bacterial Cellulose for Extraction of Sr, U, Pu, and Am from Solutions / N. Atykyan, V. Revin, A.V. Safonov, Y.Y. Karaseva, I. Proshin, V. Shutova // Radiochemistry. — 2021. — V. 63. — P. 613–619. (WoS, JIF 0,9; 0,5 п.л./70%))
21. Safonov A.V. Investigation of materials for reactive permeable barrier in removing cadmium and chromium (VI) from aquifer near a solid domestic waste landfill / A.V. Safonov, N. Popova, N. Andrushenko, K. Boldyrev, N. Yushin, I. Zinicovscaia // Environmental Science and Pollution Research. — 2021. — V. 28. — P. 4645–4659. (WoS, JIF 5,8; 0,9 п.л./75%)
22. Safonov A.V. Biogeochemical Modelling of Uranium Immobilization and Aquifer Remediation Strategies Near NCCP Sludge Storage Facilities / A.V. Safonov, A.E. Boguslavsky, O.L. Gaskova, K.A. Boldyrev, O.S. Shvartseva, A.A. Khvashchevskaya, N.M. Popova // Applied Sciences. — 2021. — V. 11, № 6. — P. 2875. (WoS, JIF 2,8; 1,5 п.л./50%)
23. Zinicovscaia I. Zinc-containing effluent treatment using *Shewanella xiamenensis* biofilm formed on zeolite / I. Zinicovscaia, N. Yushin, D. Grozdov, D. Abdusamadzoda, A.V. Safonov, E. Rodlovskaya // Materials. — 2021. — V. 14, № 7. — P. 1760. (Scopus, WoS, IF 3,6; 1,1 п.л./60%)
24. Zinicovscaia I. Bio-zeolite use for metal removal from copper-containing synthetic effluents / I. Zinicovscaia, N. Yushin, D. Grozdov, A.V. Safonov, T. Ostovnaya, K. Boldyrev, D. Kryuchkov, N. Popova // Journal of Environmental Health Science and Engineering. — 2021. — V. 19. — P. 1383–1398. (WoS, JIF 3,0; 0,9 п.л./65%)
25. Сафонов А.В. Геохимическое моделирование поведения урана в подземных водах вблизи шламохранилищ при биоремедиации / А.В. Сафонов, А.Е. Богуславский, К.А. Болдырев, О.Л. Гаськова, О.С. Наймушина, Н.М. Попова // Геохимия. — 2021. — Т. 66, № 1. — С. 63–72. (IF РИНЦ

- 1,3) (Safonov A.V. Geochemical modeling of the uranium behavior in groundwater near the sludge storages during bioremediation / A.V. Safonov, A. Boguslavsky, K. Boldyrev, O. Gaskova, O. Naimushina, N. Popova // *Geochemistry international*. — 2021. — V. 59. — P. 56–65. (WoS, JIF 0,7; 0,6 п.л./50%))
26. Safonov A.V. Risk of colloidal and pseudo-colloidal transport of actinides in nitrate contaminated groundwater near a radioactive waste repository after bioremediation / A.V. Safonov, E. Lavrinovich, A. Emel'yanov, K. Boldyrev, V. Kuryakov, N. Rodygina, E. Zakharova, A. Novikov // *Scientific Reports* 2022 12:1. — 2022. — V. 12, № 1. — P. 1–13. (WoS, JIF 4,9; 0,8 п.л./75%)
27. Novikov A.P. Cation Protonation Degree Influence on the Formation of Anion-Anion and Other Non-Valent Interactions in Guaninium Perrhenates and Pertechtetate / A.P. Novikov, K.E. German, A.V. Safonov, M.S. Grigoriev // *ChemistrySelect*. — 2022. — V. 7, № 33. — P. e202202814. (WoS, JIF 2,3; 0,5 п.л./65%)
28. Safonov A.V. The microbial impact on U, Pu, Np, and Am immobilization on aquifer sandy rocks, collected at the deep LRW injection site / A.V. Safonov, N. Popova, K. Boldyrev, E. Lavrinovich, N. Boeva, G. Artemiev, E. Kuzovkina, A. Emelyanov, I. Myasnikov, E. Zakharova, A. Novikov // *Journal of Geochemical Exploration*. — 2022. — V. 240. — P. 107052. (WoS, JIF 4,1; 1,4 п.л./75%)
29. Сафоно́в А.В. Роль фитопланктона в самоочищении водоемов с радионуклидным загрязнением / А.В. Сафоно́в, А.В. Огнистая, К.А. Болдырев, Д.А. Зеленина, Л.Г. Бондарева, И.Г. Тананаев // *Радиохимия*. — 2022. — Т. 64, № 2. — С. 120–132. (IF РИНЦ 0,9) (Safonov A. V. The Role of Phytoplankton in Self-Purification of Water Bodies with Radionuclide Pollutants / A. V. Safonov, Ognistaya, A. V., Boldyrev, K. A., Zelenina, D. A., Bondareva, L. G., & Tananaev, I. G. // *Radiochemistry*. — 2022. — V. 64, No. 2. — P. 120-132. (WoS, JIF 0,9; 0,8 п.л./75%))
30. Vishnyakova A. Effect of mineral carriers on biofilm formation and nitrogen removal activity by an indigenous anammox community from cold groundwater ecosystem alone and bioaugmented with biomass from a “warm” anammox reactor / A. Vishnyakova, N. Popova, G. Artemiev, E. Botchkova, Y. Litti, A.V. Safonov // *Biology*. — 2022. — V. 11, № 10. — P. 1421. (WoS, JIF 5,16; 1,4 п.л./60%)
31. Abramova E. Characteristics and rates of microbial processes in clays of different mineral and elemental composition in relation to safety prediction for ESB clay materials / E. Abramova, N. Popova, G. Artemiev, V. Zharkova, E. Zakharova, A.V. Safonov // *Applied Sciences*. — 2022. — V. 12, № 4. — P. 1843. (WoS, JIF 2,83; 0,9 п.л./60%)
32. Popova N. Biogeochemical Permeable Barrier Based on Zeolite and Expanded Clay for Immobilization of Metals in Groundwater / N. Popova, G. Artemiev, I. Zinicovskaia, N. Yushin, L. Demina, K. Boldyrev, D. Sobolev, A.V. Safonov // *Hydrology*. — 2022. — V. 10, № 1. — P. 4. (WoS, JIF 3,2; 1,1 п.л./75%)
33. Popova N. Biofilms of anammox bacteria on mineral carriers to establish a subterranean permeable barrier / N. Popova, A. Vishnyakova, G. Artemiev, A. Sitanskaia, Y. Litti, A.V. Safonov // *International Journal of Environmental Science and Technology*. — 2023. — V. 20, № 2. — P. 2159–2170. (WoS, JIF 3,1; 0,8 п.л./75%)
34. Zinicovskaia I. Application of *Shewanella xiamenensis* Placed on Zeolite in Treatment of Silver-Containing Effluents / I. Zinicovskaia, N. Yushin, D. Grozdov, A.V. Safonov // *Minerals*. — 2023. — V. 13, № 2. — P. 179. (WoS, JIF 2,8; 0,9 п.л./60%)
35. Boldyrev K.A. Strontium transport modeling in high-concentrated nitrate solution in DEEP liquid radioactive waste repository / K.A. Boldyrev, I.V. Kapyrin, A.V. Safonov, Y.Y. Karaseva, P.D. Blinov, E.A. Tyupina, E.V. Zakharova // *Journal of Contaminant Hydrology*. — 2023. — V. 256. — P. 104172. (WoS, JIF 4,1; п.л./60%)
36. Abuladze M. Adaptive Mechanisms of *Shewanella Xiamenensis* DCB 2-1 Metallophilicity / M. Abuladze, N. Asatiani, T. Kartvelishvili, D. Krivonos, N. Popova, A.V. Safonov, N. Sapojnikova, N. Yushin, I. Zinicovskaia // *Toxics*. — 2023. — V. 11, № 4. — P. 304. (WoS, JIF 4,6; 1,2 п.л./60%)
37. Botchkova E. Characterization of enrichment cultures of anammox, nitrifying and denitrifying bacteria obtained from a cold, heavily nitrogen-polluted aquifer / E. Botchkova, A. Vishnyakova, N. Popova, M. Sukhacheva, T. Kolganova, Y. Litti, A.V. Safonov // *Biology*. — 2023. — V. 12, № 2. — P. 221. (WoS, JIF 5,16; 1,6 п.л./60%)

На автореферат поступило 19 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 изложены новые научно-обоснованные подходы, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, и прежде всего, в развитие методов ремедиации загрязнённых радионуклидами территорий: 1)

предложен комплексный подход оценки влияния поверхностных хранилищ НАО на подземные воды, включающий геохимические, геологические и микробиологические исследования, который позволяет прогнозировать процессы миграции загрязнителей на стадиях эксплуатации и в постконсервационный период; 2) выявлены закономерности миграции долгоживущих радионуклидов на фоне растворимых макрокомпонентов инфильтрата в окислительных условиях в растворенной, коллоидной и псевдоколлоидной форме и определены оптимальные участки для комплексной очистки подземных вод; 3) выявлены общие закономерности формирования устойчивых биогеоценозов, включающих микроорганизмы биогеохимических циклов азота, серы и железа в подземных водах с долговременной экстремально высокой техногенной нагрузкой и подобраны растворы для их интенсификации *in situ*, включая отходы пищевого производства; 4) предложен способ иммобилизации актинидов и стронция *in situ* путем внесения раствора гидрофосфата натрия; 5) предложен способ формирования восстановительного и сорбционно-осадительного барьера для актинидов и технеция путем интенсификации микробных сообществ *in situ* и описаны этапы и условия формирования аутигенных сульфидно-железистых минеральных фаз; 6) впервые описана роль биогеохимических процессов в снижении риска коллоидного и псевдоколлоидного транспорта актинидов. 7) показана принципиальная возможность реализации биогеохимического барьера в зоне аэрации в болотах и приповерхностных водах с комплексным загрязнением, в донных отложениях искусственных и природных водоемов, в глубинных водоносных горизонтах, используемых для закачки жидких РАО.

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) в подземных водах вблизи водоемов-хранилищ РАО ОАО «ЧМЗ», ПАО «НЗХК», АО «АЭХК», АО «ЭХЗ», АО «СХК» участки с высокой техногенной нагрузкой характеризуются высоким риском миграции долгоживущих радионуклидов. Микроорганизмы цикла азота в загрязненных зонах могут обеспечить процесс самоочистки, который лимитирован вследствие дефицита фосфора и органического углерода; 2) нагнетание растворимых органических соединений (в том числе отходов пищевого производства) и источников фосфора в подземные воды позволяет активировать микробный процесс органотрофной денитрификации *in situ*, что приводит к установлению анаэробных условий, необходимых для дальнейшего формирования биогеохимического барьера; 3) эффективность удаления нитрата в водоносных горизонтах *in situ* определяется составом органического субстрата, вносимого в пласт, гидродинамическим режимом пласта и составом пород и зависит от микробного разнообразия подземных вод и способности микроорганизмов формировать биопленки, защищающие от стрессовых факторов; 4) в анаэробных условиях после удаления нитратов происходит иммобилизация Sr, U, Pu, Np, Am и Tc на грунтах в биопленках вследствие добавления фосфатов, а также биогенных и биогенно-опосредованных процессов сульфат- и железоредукции, окисления органического вещества с образованием карбонатов; 5) активация подземных микробных сообществ внесением органических субстратов и фосфатов позволяет снизить риск миграции коллоидных и псевдоколлоидных фаз урана и других актинидов; 6) при изменении окислительно-восстановительных условий реокисление железа приводит к

формированию малорастворимых оксидно-гидроксидных аутигенных фаз, предотвращающих ремобилизацию актинидов и Тс.

Личный вклад автора состоит в выполнении большей части экспериментальных и теоретических исследований или непосредственным руководством этими исследованиями совместно с сотрудниками ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Института аналитической химии и геохимии РАН, Института геологии и минералогии СО РАН, Института органической химии РАН, Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН и другими научными институтами и организациями. Автору принадлежит основная роль при выборе методов и подходов для решения поставленных задач, анализе результатов и их обобщении.

На заседании 25 сентября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Сафонову А.В. ученую степень доктора химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против 2, недействительных бюллетеней - 1.

Зам. председателя диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

_____/Пресняков И.А./

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат химических наук

_____/Северин А.В./

«25» сентября 2024 года