Заключение диссертационного совета 01.4.001.91
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук.
Решение диссертационного совета от «17» декабря 2025 г.,
протокол № **074/ПР-17122025** о присуждении
Фараонову Максиму Алексеевичу, гражданину РФ,
ученой степени доктора химических наук.

Диссертация «Комплексы металлов с анионами аннелированных порфиразинов: строение и физико-химические свойства» по специальности 1.4.1 (неорганическая химия) принята диссертационным советом 01.4.001.91 к защите 01 октября 2025 года, протокол № 071/ПР-01102025.

Соискатель – Фараонов Максим Алексеевич, 1991 года рождения, в 2013 г. окончил Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова». В том же году поступил в аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем химической физики Российской академии наук (ИПХФ РАН) и закончил ее в 2017 г. В этом же году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Анионные и анион-радикальные соединения фталоцианинов: синтез, структура, свойства», номер диплома: серия КНД № 034145, диссертационный совет Д 002.82.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химической физики Российской академии наук.

Соискатель работает в Лаборатории перспективных полифункциональных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН) в должности ведущего научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Лаборатории перспективных полифункциональных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук.

Научный консультант:

Конарев Дмитрий Валентинович, профессор РАН, доктор химических наук, заведующий лабораторией перспективных полифункциональных материалов, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра проблем

химической физики и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН).

Официальные оппоненты:

- Шевельков Андрей Владимирович, член-корреспондент РАН, профессор, доктор химических наук, заведующий кафедрой неорганической химии химического факультета Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»;

- Третьяков Евгений Викторович, член-корреспондент РАН, доктор химических наук, заведующий лабораторией гетероциклических соединений им. академика А.Е. Чичибабина, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук (ИОХ РАН);

- Романенко Галина Владиславовна, доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории многоспиновых координационных соединений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук (МТЦ СО РАН).

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию, представленную соискателем. В отзывах оппонентов оценена актуальность избранной темы, степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированной в диссертации, их достоверность и новизна.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук (ИНХ СО РАН).

Ведущая организация предоставила положительный отзыв на рассматриваемую диссертацию, в котором отражена значимость полученных автором диссертации результатов для развития неорганической и координационной химии, оценена новизна, актуальность, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены рекомендации по их использованию.

В отзывах официальных оппонентов и ведущей организации приведено заключение о соответствии диссертации критериям, изложенным в пп. 2.1-2.5. Положения о присуждении учёных степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) от 29 марта 2024 г., а также заключение о том, что ее автор достоин присуждения искомой степени.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывался профилем их специализации, близкой к теме диссертации, а именно в области неорганической и координационной химии, химии магнитно-активных комплексов и материалов, химии тетрапиррольных соединений, а также, наличием публикаций в рецензируемых научных изданиях в области, близкой к диссертационному исследованию и широкой возможностью дать объективную оценку всех аспектов рассматриваемой диссертационной работы.

Диссертационная работа Фараонова М.А. соответствует пп. 1–3, 5–7 паспорта специальности 1.4.1 – Неорганическая химия (химические науки).

Личный вклад диссертанта состоял в выполнении всего объема синтетической экспериментальной работы: Автор лично участвовал в определении направления исследования и его объектов, постановке задач и разработке подходов их решения. Участвовал в интерпретации и обобщении полученных результатов, формулировке выводов. Все работы по синтезу искомых комплексов и методологии были проведены либо самим автором, либо совместно с аспирантами и студентами. Исследования полученных комплексов, описанные в диссертации, автор проводил лично, а также в сотрудничестве с коллегами из ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ИОНХ РАН, ИФТТ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова и Киотского университета (Япония).

Достоверность результатов, полученных в рамках диссертационного исследования, подтверждается следующими аспектами:

- согласованностью данных, полученных с применением различных физико-химических методов анализа, рентгеновской дифракции и квантово-химических расчётов;

- отсутствием противоречий между выводами исследования и известными литературными данными;

- положительной оценкой редакционных коллегий высокоцитируемых журналов, в которых были опубликованы результаты исследования;

- многочисленными апробациями результатов на международных и всероссийских конференциях.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе 25 статей по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты на диссертационных советах ИОНХ РАН по соответствующей специальности:

1. Konarev D.V. Crystalline salts of metal phthalocyanine radical anions $[M(Pc^{\bullet 3-})]^{\bullet -}$ (M = Cu^{II}, Pb^{II}, $V^{IV}O$, $Sn^{IV}Cl_2$) with cryptand(Na^+) cations: structure, optical and magnetic properties / D. V. Konarev, **M. A. Faraonov**, A. V. Kuzmin, S. S. Khasanov, Y. Nakano, S. I.

Norko, M. S. Batov, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya // New J. Chem. – 2017. – Т. 41 – № 14 – 6866–6874. DOI: 10.1039/C7NJ00530J

2. Konarev D.V. Synthesis, structures, and properties of crystalline salts with radical anions of metal-containing and metal-free phthalocyanines / D. V. Konarev, A. V. Kuzmin, **M. A. Faraonov**, M. Ishikawa, S. S. Khasanov, Y. Nakano, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya // Chemistry A European J. – 2015. – Т. 21 – № 3 – 1014–1028. DOI: 10.1002/chem.201404925

3. **Faraonov M.A.** Structure and properties of radical anion and dianion salts of organic dye *trans* -perinone and its mixed salt with gallium(III) phthalocyanine / **M. A. Faraonov**, N. R. Romanenko, M. V. Mikhailenko, A. V. Kuzmin, S. S. Khasanov, D. V. Konarev // New J. Chem. – 2021. – Т. 45 – № 30 – 13599–13607. DOI: 10.1039/D1NJ01636A

4. **Faraonov M.A.** Salts of vanadyl phthalocyanine $\{V^{IV}O(Pc^{\bullet 3-})\}^{-}$ anions with decamethylmetallocenium cations ($Cp^{*}_{2}M^{+}$, M = Cr^{III} and Co^{III}). Ferromagnetic coupling in the $[(Cp^{*}_{2}Cr^{+})\{V^{IV}O(Pc^{\bullet 3-})\}^{-}]_2$ assemblies / **M. A. Faraonov**, M. V. Mikhailenko, N. R. Romanenko, A. V. Kuzmin, S. S. Khasanov, E. I. Yudanova, D. V. Konarev // Dyes and Pigments – 2022. – Т. 201 – 110183. DOI: 10.1016/j.dyepig.2022.110183

5. **Faraonov M.A.** Molecular structure, optical and magnetic properties of iron tetra(2,3-quinoxalino)porphyrazine $[(N\text{-MeIm})_2Fe^{I}\{T(2,3\text{-Q})Pz\}^{\bullet 3-}]\}^{\bullet 2-}$ radical dianions / **M. A. Faraonov**, N. R. Romanenko, A. V. Kuzmin, D. V. Konarev, S. S. Khasanov, R. N. Lyubovskaya // Macroheterocycles – 2019. – Т. 12 – № 2 – 202–208. DOI: 10.6060/mhc190451f

6. Romanenko N.R. Interaction of $In^{III}ClPc$ and $Tl^{III}ClPc$ phthalocyanines with deprotonated porphyrin $HTPP^{-}$ anions. Metal-centred reduction of $Tl^{III}ClPc$ / N. R. Romanenko, **M. A. Faraonov**, S. S. Khasanov, E. I. Yudanova, D. V. Konarev // J. Porphyrins Phthalocyanines – 2022. – Т. 26 – № 02 – 162–170. DOI: 10.1142/s1088424621501200

7. Konarev D.V. Molecular structure, optical and magnetic properties of the $\{Sn^{IV}Pc(3-)Cl_2\}^{\bullet -}$ radical anions containing negatively charged Pc ligands / D. V. Konarev, S. I. Troyanov, **M. A. Faraonov**, M. Ishikawa, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya // J. Porphyrins Phthalocyanines – 2014. – Т. 18 – № 12 – 1157–1163. DOI: 10.1142/S1088424614501077

8. Flakina A.M. Bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene and dibenzotetrathiafulvalene salts with dicyanoiron(III) phthalocyanine anions / A. M. Flakina, S. A. Torunova, **M.A. Faraonov**, D. I. Nazarov, A. V. Kuzmin, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, D. V. Konarev // Inorganica Chimica Acta – 2024. – Т. 563 – 121933. DOI: 10.1016/j.ica.2024.121933

9. **Faraonov M.A**. Single-molecule magnets based on heteroleptic terbium(III) trisphthalocyaninate in solvent-free and solvent-containing forms / **M. A. Faraonov**, A. G. Martynov, M. A. Polovkova, S. S. Khasanov, Y. G. Gorbunova, A. Yu. Tsivadze, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, D. V. Konarev // Magnetochemistry – 2023. – T. 9 – № 2 – 36. DOI: 10.3390/magnetochemistry9020036

10. Konarev D.V. Layered salts with iron hexadecachlorophthalocyanine anions – the formation of $[\{FeCl_{16}Pc\}_2]^{3-}$ dimers containing $[Fe^{I}Cl_{16}Pc(2-)]^{-}$ and diamagnetic $[Fe^{0}Cl_{16}Pc(2-)]^{2-}$ / D. V. Konarev, A. V. Kuzmin, M. Ishikawa, Y. Nakano, **M. A. Faraonov**, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya // Eur J Inorg Chem – 2014. – T. 2014 – № 24 – 3863–3870. DOI: 10.1002/ejic.201400126

11. Konarev D.V. Molecular structures, and optical and magnetic properties of free-base tetrapyrazinoporphyrazine in various reduction states / D. V. Konarev, **M.A. Faraonov**, A. V. Kuzmin, N. G. Osipov, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, R. N. Lyubovskaya // New J. Chem. – 2019. – T. 43 – № 48 – 19214–19222. DOI: 10.1039/C9NJ04775A

12. Konarev D.V. Molecular structure, optical and magnetic properties of dianionic free-base tetrapyrazinoporphyrazine macrocycle / D. V. Konarev, **M.A. Faraonov**, A. V. Kuzmin, A. M. Fatalov, N. G. Osipov, S. S. Khasanov, A. F. Shestakov, R. N. Lyubovskaya // ChemistrySelect – 2018. – T. 3 – № 16 – 4339–4343. DOI: 10.1002/slct.201800739

13. **Faraonov M.A.** Crystalline salts of anionic free-base tetrapyrazinoporphyrazines with alkyl-substituents or an extended π-electron system / **M. A. Faraonov**, N. G. Osipov, N. R. Romanenko, A. V. Kuzmin, A. B. Kornev, P. A. Stuzhin, S. S. Khasanov, D. V. Konarev // New J. Chem. – 2022. – T. 46 – № 46 – 22195–22202. DOI: 10.1039/D2NJ04578H

14. **Faraonov M.A.** Synthesis, X-ray structures, and optical and magnetic properties of Cu (II) octafluoro-octakisperfluoro(isopropyl)phthalocyanine: the effects of electron addition and fluorine accretion / **M. A. Faraonov**, I. A. Yakushev, E. I. Yudanova, M. Pelmus, S. M. Gorun, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, D. V. Konarev // Inorg. Chem. – 2023. – T. 62 – № 29 – 11390–11401. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.3c00887

15. Konarev D.V. The salts of copper octafluoro- and hexadecafluorophthalocyanines containing $[Cu^{II}(F_8Pc)^{4-}]^{2-}$ dianions and $[CuF_{16}Pc]^{-}$ monoanions / D. V. Konarev, S. I. Troyanov, A. V. Kuzmin, Y. Nakano, M. Ishikawa, **M. A. Faraonov**, S. S. Khasanov, A. L. Litvinov, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya // Inorg. Chem. – 2017. – T. 56 – № 4 – 1804–1813. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b01932

16. Konarev D.V. Effect of reduction on the molecular structure and optical and magnetic properties of fluorinated copper (II) phthalocyanines / D. V. Konarev, **M.A. Faraonov**, M. S.

Batov, M. G. Andronov, A. V. Kuzmin, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, R. N. Lyubovskaya // Dalton Trans. – 2020. – T. 49 – № 46 – 16821–16829. DOI: 10.1039/D0DT02635B

17. **Faraonov M.A.** Radical anion and dianion salts of titanyl macrocycles with acceptor substituents or an extended π-system / **M. A. Faraonov**, D. V. Konarev, A. M. Fatalov, S. S. Khasanov, S. I. Troyanov, R. N. Lyubovskaya // Dalton Trans. – 2017. – T. 46 – № 11 – 3547–3555. DOI: 10.1039/C6DT04896J

18. Finogenov D.N. Perchlorinated vanadyl tetrapyrazinoporphyrazine: spectral, redox and magnetic properties / D. N. Finogenov, **M. A. Faraonov**, A. S. Kopylova, T. E. Ivanov, N. R. Romanenko, I. A. Yakushev, D. V. Konarev, P. A. Stuzhin // New J. Chem. – 2024. – T. 48 – № 22 – 10067–10073. DOI: 10.1039/D4NJ01145G

19. **Faraonov M.A.** Crystalline salts of the ring-reduced tin (IV) dichloride hexadecachlorophthalocyanine and octachloro- and octacyanotetrapyrazinoporphyrazine macrocycles with strong electron-withdrawing ability / **M. A. Faraonov**, N. R. Romanenko, A. V. Kuzmin, D. V. Konarev, S. S. Khasanov, R. N. Lyubovskaya // Dyes and Pigments – 2020. – T. 180 – 108429. DOI: 10.1016/j.dyepig.2020.108429

20. **Faraonov M.A.** Synthesis, structure and properties of coordination complexes of tin(II) phthalocyanine and naphthalocyanine with transition metal fragments / **M. A. Faraonov**, E. I. Yudanova, A. V. Kuzmin, S. S. Khasanov, S. I. Troyanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, D. V. Konarev // CrystEngComm – 2023. – T. 25 – № 33 – 4620–4637. DOI: 10.1039/D3CE00564J

21. **Faraonov M.A.** Bimetallic neutral and anionic complexes of transition metal (Co, Mn) carbonyls with indium (III) phthalocyanine / **M. A. Faraonov**, E. I. Yudanova, A. V. Kuzmin, I. A. Yakushev, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, D. V. Konarev // Dalton Trans. – 2023. – T. 52 – № 34 – 12049–12056. DOI: 10.1039/D3DT01498C

22. Konarev D.V. Coordination complexes of transition metals (M = Mo, Fe, Rh, and Ru) with tin (II) phthalocyanine in neutral, monoanionic, and dianionic states / D. V. Konarev, A. V. Kuzmin, Y. Nakano, **M. A. Faraonov**, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, G. Saito, R. N. Lyubovskaya // Inorg. Chem. – 2016. – T. 55 – № 4 – 1390–1402. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b01906

23. **Faraonov M.A.** Crystalline rhodium-tin complexes with radical trianion and tetraanion phthalocyanine ligands: observation of N_{imine} (Pc)−Rh coordination bond / **M. A. Faraonov**, A. V. Kuzmin, I. A. Yakushev, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa,

D. V. Konarev // Eur J Inorg Chem – 2023. – Т. 26 – № 29 – e202300407. DOI: 10.1002/ejic.202300407

24. **Faraonov M.A.** Salt of ring-reduced iron (II) octaethyltetrapyrazinoporphyrazine containing trimetallic dianions with peripherally coordinated $ZnCl_2$ units: $\{Fe^{II}(TPyzPzEt_8)^{4-}(ZnCl_2)_2\}^{2-}$ / **M. A. Faraonov**, N. R. Romanenko, A. V. Kuzmin, D. V. Konarev, A. F. Shestakov, P. A. Stuzhin, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, R. N. Lyubovskaya // Eur J Inorg Chem – 2019. – Т. 2019 – № 24 – 2918–2923. DOI: 10.1002/ejic.201900511

25. Romanenko N.R. Heterotrimetallic paramagnetic complex of ring reduced tin(II) hexadecachlorophthalocyanine / N. R. Romanenko, **M. A. Faraonov**, N. G. Osipov, A. V. Kuzmin, S. S. Khasanov, A. Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, D. V. Konarev // New J. Chem. – 2023. – Т. 47 – № 14 – 6924–6931. DOI: 10.1039/D3NJ00506B

Количество цитирований основных публикаций по теме диссертации в международных базах данных Web of Science- (Н-индекс - 11, цитирований - 324), Scopus- (Н-индекс - 12, цитирований - 326), РИНЦ- (Н-индекс -11, цитирований 329).

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов от следующих организаций:

- Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии (проф. РАН, д.х.н. Бокач Н.А. и д.х.н. Кинжалов М.А.; д.х.н. Болотин Д.С.)

- ФГАОУВО «Южный федеральный университет» (д.х.н. Лисневская И.В.)

- ФГУБН Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (д.х.н. Федотова М.В.)

- ФГУБН Институт металлорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН (член-корр РАН, д.х.н. Пискунов А.В.; д.х.н. Куропатов В.А.)

-ФГОУВПО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (д.х.н. Волкова О.С.; д.х.н. Лазоряк Б.И.; д.х.н. Милаева Е.Р.; д.х.н. Горюнков А.А.)

- ФГБОУВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (д.х.н. Жабанов Ю.А.)

Все поступившие отзывы - положительные.

Диссертационный совет считает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решены такие важные задачи современной неорганической химии, как:

1. Развиты подходы к синтезу анионных соединений бензо- и гетероаннелированных порфиразинов. Определены условия проведения одно- и двухэлектронных восстановлений макроциклического лиганда. Продемонстрировано, что возможности

для получения координационных соединений на основе металлопорфиразинов существенно расширяются при использовании восстановительных условий синтеза.

2. Получены новые комплексы металлов на основе восстановленного порфиразинового лиганда, а также гетероби- и полиметаллические аксиальные комплексы аннелированных металлопорфиразинов со связью металл-металл и комплексы с координацией мезо-атома азота порфиразина на металл.

3. Определены структуры комплексов в кристалле. Выявлены факторы, влияющие на молекулярную структуру порфиразинового лиганда и супрамолекулярную организацию. Установлена связь между строением полученных соединений и их физико-химическими свойствами.

4. Продемонстрирована возможность получения магнитно-активных комплексов металлов с анионами аннелированных порфиразинов с выраженным поглощением в ближней ИК-области. Предложены методы дизайна и управления функциональными свойствами этих соединений.

Диссертационный совет отмечает, что представленная 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. Синтез, получение кристаллических форм и физико-химическая характеризация методами ИК-спектроскопии, ЭСП, РСА, ЭПР-спектроскопии и магнитометрии с применением квантово-химических расчетов комплексов металлов с анионами аннеллированных порфиразинов.

2. Молекулярная структура макроцикла в соединениях с разным зарядовым состоянием порфиразинового лиганда. Кристаллические структуры, данные исследования физико-химических свойств и результаты квантово-химических расчетов соединений. Исследование взаимосвязи между составом, строением и физико-химическими свойствами комплексов. Сравнение влияния восстановления и депротонирования на молекулярную структуру и свойства соединений свободных порфиразинов.

3. Дизайн, синтез и изучение координационных гетерометаллических соединений со связью металл–металл и/или периферийной координацией мезо-атома азота порфиразинового лиганда на металл.

4. Молекулярные структуры координационных гетероби- и полиметаллических фрагментов. Взаимосвязь между молекулярной структурой порфиразинового лиганда и его зарядовым и спиновым состояниями. Кристаллические структуры гетерометаллических комплексов. Взаимосвязь между составом и строением гетерометаллических комплексов и их физико-химическими свойствами.

Диссертационный совет считает, что диссертация Фараонова М.А. соответствует критериям, установленными пп. 2.1-2.5. Положения о присуждении учёных степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) от 29 марта 2024 г., а ее автор **заслуживает присуждения ему ученой степени доктора химических наук** по специальности 1.4.1. Неорганическая химия (химические науки).

На заседании от «17» декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение **присудить** Фараонову М.А. ученую степень доктора химических наук по специальности 1.4.1- неорганическая химия.

При проведении тайного голосования диссертационного совета в количестве **13** человек, из них **12** докторов наук по специальности 1.4.1 – неорганическая химия, участвовавших в заседании, из **14** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0 (нет)** человек, проголосовали:

За – **13 (тринадцать)** против – **нет (нет)**, воздержались – **нет (нет)**.

Протокол счетной комиссии № **075/ПР-17122025**.

Председатель Диссертационного совета 01.4.001.91,
чл.-корр. РАН

Жижин К.Ю.

Ученый секретарь Диссертационного совета 01.4.001.91,
к.х.н.

Бузанов Г.А.

«17» декабря 2025 г.