«УТВЕРЖДАЮ»

директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, акад. РАН, д.х.н., В.К. Иванов

_____
(подпись)

«25» сентября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

секции «Неорганическая химия», секции «Координационная химия»
Учёного совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института общей и неорганической химии
им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН)

Диссертация «Комплексы металлов с анионами аннелированных порфиразинов: строение и физико-химические свойства» выполнена в лаборатории перспективных полифункциональных материалов отдела кинетики и катализа Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН).

В период подготовки диссертации в 2013-2025 гг. соискатель Фараонов Максим Алексеевич, 26.11.1991 г.р., работал в ФИЦ ПХФ и МХ РАН в отделе кинетики и катализа в лаборатории перспективных полифункциональных материалов в должностях инженера-исследователя, младшего научного сотрудника, научного сотрудника, старшего научного сотрудника, затем ведущего научного сотрудника. В настоящее время работает там же в должности ведущего научного сотрудника. Фараонов М.А. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук на тему «Анионные и анион-радикальные соединения фталоцианинов: синтез, структура, свойства» по специальности 02.00.04 – физическая химия на заседании диссертационного совета Д 002.82.02 на базе ФГБУН «Институт проблем химической физики РАН» 15 февраля 2017 года (приказ Министерства образования и науки Российской Федерации №627/нк–16 от 22 июня 2017 г.).

Научный консультант:

Конарев Дмитрий Валентинович - доктор химических наук, профессор РАН, 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).

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертационная работа Фараонова Максима Алексеевича носит фундаментальный характер и посвящена разработке подходов к синтезу комплексов металлов с анионами аннелированных порфиразинов как компонентов магнитно-активных материалов с расширенным профилем оптического поглощения.

В настоящее время актуальным является поиск подходов к получению и непосредственно получение новых магнитных материалов, которые играют ключевую роль в процессах обработки, хранения и передачи информации. По мнению большинства исследователей используемые в настоящее время неорганические материалы – металлы, их оксиды и интерметаллиды – не смогут обеспечить желаемый прогресс в улучшении производительности и энергоэффективности устройств. Общепризнанной концепцией, способной обеспечить существенный технологический прогресс, является разработка магнитных материалов на основе координационных соединений. Стратегия заключается в конструировании искомых материалов из молекулярных строительных блоков – ионов металлов и органических лигандов. Ключевое преимущество таких материалов заключается в том, что, основываясь на хорошо разработанных и универсальных методах молекулярной и координационной химии, можно производить тонкую настройку и оптимизацию свойств искомых материалов, а использование органических лигандов позволяет сочетать в одном материале несколько важных практически значимых свойств. Сейчас в литературе описаны лишь единичные примеры магнитно-активных соединений с практически-значимыми характеристиками, поэтому важная задача заключается в поиске новых координационных магнитно-активных соединений.

Компонетами для создания новых материалов являются координационные соединения аннелированных порфиразинов. Макрогетероциклы обладают интенсивным поглощением в широком диапазоне, имеют беспрецедентную химическую и термическую устойчивость. Аннелированные порфиразины способны образовать устойчивые катионные (окисленные) и анионные (восстановленные) формы со свойствами, отличными от свойств исходных электронейтральных форм. При окислении фталоцианинов получены комплексы с высокой проводимостью и магнетосопротивлением. При этом восстановление макрогетероциклов с получением структурно охарактеризованных кристаллических соединений практически не изучено. Более того, в спектрах поглощения могут наблюдаться полосы в ближнем ИК-диапазоне.

магнитно-активных материалов, поглощающих в БИК области. Впервые проведено системное исследование структуры, оптических и магнитных свойств таких соединений, установлены закономерности между природой металлов-комплексообразователей, противокатионов, природой, упаковкой макроциклов и их физико-химическими свойствами.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.

Выбор тематики исследования, постановка задач, обобщение полученных результатов и формулировка научных выводов принадлежат автору работы. Диссертантом выполнен основной объем экспериментальной работы, обработка и анализ полученных данных. Проведены исследования оптических свойств методами ИК-спектроскопии и спектроскопии в УФ-видимой-БИК областях. Проведены исследования магнитных свойств соединений с использованием ЭПР-спектроскопии при температурах 4–300 К и измерения магнитной восприимчивости в интервале 1.9–300 К.

Степень достоверности результатов проведенных соискателем исследований, их апробация.

Достоверность результатов и выводов обеспечивается использованием набора высокоточных и взаимодополняющих физико-химических методов анализа и подтверждается сходимостью и воспроизводимостью полученных данных. Структуры всех соединений доказаны прямым методом – по данным рентгеноструктурного анализа на монокристалле. Достоверность результатов и выводов также подтверждается публикацией результатов проведенного исследования в международных рецензируемых научных журналах. Сформулированные выводы и результаты научно обоснованы и соответствуют современным научным химическим представлениям.

Результаты работы были представлены на ведущих российских и международных конференциях: XII, XIII и XV Международных конференциях «Синтез и применение порфиринов и их аналогов» (IPCP-12, 13, 15) (Иваново, 2016 г., 2019 г., 2024 г.), III Всероссийской молодежной конференции «Успехи химической физики». (Черноголовка, 2016 г.), 6-й Европейской конференции по азот-содержащим лигандам (Бон, Франция, 2015 г.), 5-й Европейской конференции по молекулярному магнетизму (Сарагоса, Испания, 2015 г.), X и XIII Всероссийских школах-конференциях молодых ученых «Органические и гибридные наноматериалы» (Иваново, 2015 г., 2021 г.), 12-м международном симпозиуме по кристаллическим органическим металлам, сверхпроводникам и магнитам (ISCOM2017) (Зао, Япония, 2018 г.), Научной конференции «Динамические процессы в химии элементоорганических соединений» (Казань, 2018 г.), Международных молодежных научных форумах «ЛОМОНОСОВ-2017, 2018» (Москва, 2017 г., 2018 г.), Международных научных конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2019, 2020, 2023, 2024» (Москва, 2019 г., 2020 г., 2023 г., 2024 г.), XXI и XXII Менделеевских съездах по общей и прикладной

Поэтому комплексы на основе анионов порфиразинов могут быть рассмотрены как новые оптические ограничители и аттенюаторы, поглотители тепла. Таким образом, комплексы металлов с анионами аннелированных порфиразинов могут быть рассмотрены как компоненты полифункциональных магнитно-активных материалов.

В работе решены следующие задачи современной неорганической и координационной химии:

Впервые проведено системное исследование анионных форм аннелированных порфиразинов, ранее практически не описанных в литературе. Развита система методов получения комплексов с восстановленным порфиразиновым лигандом, а также гетероби- и полиметаллических аксиальных комплексов аннелированных металлопорфиразинов со связью металл-металл и комплексов с координацией мезо-атома азота порфиразина на металл. Все исследованные соединения выделены в виде кристаллов, установлены их молекулярные и кристаллические структуры, свойства соединений всесторонне исследованы современными физико-химическими методами. Разработаны подходы к синтезу комплексов, содержащих одно- $[M(Pz)^{3\bullet-}]^{\bullet-}$ и двукратно восстановленный $[M(Pz)^{4-}]^{2-}$ макроциклический лиганд.

Продемонстрирована взаимосвязь между строением исходного макрогетероцикла и составом, строением и свойствами соединений с анионами порфиразинов. Показана возможность управления супрамолекулярной организацией анионов порфиразинов методами кристаллохимического дизайна.

Показано, что в би- и полиметаллических аксиальных и периферийных комплексах металлопорфиразинов лиганд может иметь разные зарядовые и спиновые состояния – $(Pz)^{2-}$ и $(Pz)^{4-}$ с $S = 0$ и $(Pz)^{3\bullet-}$ с $S = 1/2$. Выявлена взаимосвязь между зарядом лиганда, его молекулярной структурой и спектральными характеристиками комплексов. Показано, что восстановление лиганда в комплексах приводит к его структурной деформации и модификации спектра поглощения исходного металломакрогетероцикла.

Показано, что магнитными свойствами комплексов металлов с анионами порфиразинов можно управлять за счет варьирования состава соединения, изменения природы металла-комплексообразователя, лиганда и противокатиона, а также за счет супрамолекулярного взаимодействия лиганд-лиганд. Показана возможность расширения диапазона поглощения света соединения вплоть до 1700 нм. Показано, что профилем оптического поглощения соединения можно управлять за счет варьирования природы лиганда и противокатиона, супрамолекулярной организации макроциклов в соединении, а также за счет варьирования зарядового состояния лиганда.

В диссертации Фараонова Максима Алексеевича «Комплексы металлов с анионами аннелированных порфиразинов: строение и физико-химические свойства» поставлены и решены актуальные задачи современной неорганической и координационной химии.

Разработана и реализована система методов получения и модификации комплексов металлов с аннелированными порфиразинами в анионной форме как компонентов

химии (Санкт- Петербург, 2019 г.; Сириус, 2024 г.), 59 Научной международной студенческой конференции (МНСК-2021) (Новосибирск, 2021 г.), Всероссийском Конгресс «KOST-2021» (Сочи, 2021 г.), XXVIII и XXIX Международных Чугаевских конференциях по координационной химии (Ольгинка, 2021 г., Казань, 2025 г.), Международной научной конференции «Химическая физика – на стыке физики, химии и биологии» (Черноголовка, 2021 г.), IX Всероссийской научной молодежной школе-конференции "Химия, физика, биология: пути интеграции" (Москва, 2022 г.), XIII Конференции молодых ученых по общей и неорганической химии (Москва, 2023 г.), Всероссийской молодежной научной школе-конференции Актуальные проблемы органической химии АПОХ-2022 (Шерегеш, 2022 г.), XXXIV Симпозиуме «Современная химическая физика» (Туапсе, 2022 г.), X конференции имени академика В.В. Воеводского «Физика и химия элементарных химических процессов» (Новосибирск, 2022 г.), Международной конференции по порфиринам и фталоцианинам (ICPP-12) (Мадрид, Испания, 2022 г.), XX Молодежной научной конференции ИХС РАН (Санкт-Петербург, 2022 г.), X международной конференции "Высокоспиновые молекулы и молекулярные магнетики" (MolMag-2023) (Новосибирск, 2023 г.), 18-й Международной конференции по молекулярному магнетизму (ICMM2023) (Нанкин, Китай, 2023 г.), Всероссийских конференциях им. академика В.И. Овчаренко "Органические радикалы и органическая электрохимия: фундаментальные и прикладные аспекты" (Москва, 2023 г., Новосибирск, 2024 г.), 3-й Азиатской конференции по молекулярному (ACMM2024) (Пусан, Республика Корея, 2024 г.), Курчатовском форуме «Исследования с применением синхротронного излучения, нейтронов и электронов» (Москва, 2024 г.), XIX Конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН «ФИЗИКОХИМИЯ – 2025» (Москва, 2025 г.).

Новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

Развита система методов получения комплексов с восстановленным порфиразиновым лигандом, а также гетероби- и полиметаллических аксиальных комплексов аннелированных металлопорфиразинов со связью металл-металл и комплексов с координацией мезо-атома азота порфиразина на металл. Впервые проведено системное исследование анионных форм аннелированных порфиразинов, ранее практически не описанных в литературе. Полученные данные вносят существенный вклад в развитие химии анионов металломакрогетероциклов, принципиально расширяя представление о составе, строении и физико-химических свойствах таких комплексов. Все это позволяет сформулировать новое научное направление, связанное с синтезом, исследованием и поиском областей применения функциональных соединений металлов с анионами аннелированных порфиразинов.

Разработаны подходы к синтезу комплексов, содержащих одно- и двукратно восстановленный лиганд. Продемонстрирована взаимосвязь между строением исходного макрогетероцикла и составом, строением и свойствами соединений с

анионами порфиразинов. Показана возможность управления супрамолекулярной организацией анионов порфиразинов методами кристаллохимического дизайна. В анионных соединениях выявлена значительная структурная деформация порфиразинового лиганда, пропорциональная отрицательному заряду на анионе.

Показано, что одноэлектронное восстановление лиганда приводит к образованию парамагнитных анион-радикалов. При восстановлении комплексов порфиразинов с парамагнитным металлом могут быть получены анионы с двумя парамагнитными центрами – лигандом и металлом.

Впервые со структурным подтверждением продемонстрирована возможность образования полиметаллических координационных соединений с координацией мезо-атома азота порфиразина на переходный металл. Показано, что в би- и полиметаллических аксиальных и периферийных комплексах металлопорфиразинов лиганд может иметь разные зарядовые и спиновые состояния. Выявлена взаимосвязь между зарядом лиганда, его молекулярной структурой и спектральными характеристиками комплексов. Показано, что восстановление лиганда в комплексах приводит к его структурной деформации, пропорциональной степени восстановления. Показана возможность управления оптическими свойствами комплексов, в том числе смещения поглощения в низкоэнергетическую область.

Показано, что магнитными свойствами и профилем оптического поглощения комплексов металлов с анионами порфиразинов можно управлять за счет варьирования состава соединения, изменения природы металла-комплексообразователя, лиганда и противокатиона, а также за счет супрамолекулярного взаимодействия лиганд-лиганд.

Полученные комплексы могут быть использованы как строительные блоки для создания более сложных супрамолекулярных систем с разнообразными физико-химическими свойствами.

Ценность научных работ соискателя. Данная диссертация направлена на решение важной научной задачи – поиску новых магнитно-активных соединений с расширенным профилем оптического поглощения. Исследование посвящено изучению анионов аннелированных порфиразинов, в том числе би- и полиметаллических аксиальных и периферийных комплексов металлопорфиразинов с переходными металлами, разработке новых синтетических подходов и исследованию их в качестве компонентов полифункциональных магнитно-активных материалов. Проведено комплексное изучение новых полученных соединение современными физико-химическими методами анализа, определены закономерности между природой металлов-комплексообразователей, противокатионов, природой, упаковкой макроциклов и их физико-химическими свойствами комплексов металлов с анионами аннелированных порфиразинов. .

Научная специальность, которой соответствует диссертация. Диссертационная работа Фараонов М.А. соответствует паспорту научной специальности 1.4.1-Неорганическая химия (отрасль науки – химические), в пунктах:

П.1. Фундаментальные основы получения объектов исследования неорганической химии и материалов на их основе.

П.2. Дизайн и синтез новых неорганических соединений и особо чистых веществ с заданными свойствами.

П.3. Химическая связь и строение неорганических соединений.

П.5. Взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений. Неорганические наноструктурированные материалы.

П.6. Определение надмолекулярного строения синтетических и природных неорганических соединений, включая координационные.

П.7. Процессы комплексообразования и реакционная способность координационных соединений, Реакции координированных лигандов.

В дискуссии принимали участие: акад. РАН Горбунова Ю.Г., чл.-корр. РАН Жижин К.Ю., д.х.н. Эллерт О.Г., к.х.н. Скабицкий И.В., к.х.н. Павлов А.А., д.х.н. Вашурин А.С., д.х.н. Сидоров А.А., д.х.н. Ильин Е.Г., к.х.н. Ефимов Н.Н.

На все вопросы и замечания соискателем даны развёрнутые ответы и комментарии.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

По материалам научно-квалификационной работы (диссертации) опубликовано 25 статей в рецензируемых зарубежных и российских научных журналах из перечня рекомендуемых ВАК при Минобрнауки РФ и индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, ядро РИНЦ.

Статьи:

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 – 6866–6874с. 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 – 1014–1028с. 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. – T. 45 – № 30 – 13599–13607c. DOI: 10.1039/D1NJ01636A

4. **Faraonov M.A.** Salts of vanadyl phthalocyanine $\{V^{IV}O(Pc^{\bullet 3-})\}^{-}$ anions with decamethylmetallocenium cations ($Cp^{*}_2M^{+}$, M = Cr^{III} and Co^{III}). Ferromagnetic coupling in the $[(Cp^{*}_2Cr^{+})\{V^{IV}O(Pc^{\bullet 3-})\}^{-}]_2$ 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. – T. 201 – 110183c. 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. – T. 12 – № 2 – 202–208c. 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. – T. 26 – № 02 – 162–170c. 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. – T. 18 – № 12 – 1157–1163c. 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. – T. 563 – 121933c. 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 – 36c. 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 – 3863–3870c. 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 – 19214–19222c. 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 – 4339–4343c. 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 – 22195–22202c. 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 – 11390–11401c. 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 – 1804–1813c. 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 – 16821–16829c. 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 – 3547–3555c. 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 – 10067–10073c. 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 – 108429c. 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 – 4620–4637c. 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 – 12049–12056c. 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 – 1390–1402c. 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. – T. 26 – № 29 – e202300407c. 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. – T. 2019 – № 24 – 2918–2923c. 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. – T. 47 – № 14 – 6924–6931c. DOI: 10.1039/D3NJ00506B

Таким образом, диссертация Фараонова Максима Алексеевича является научно-квалификационной работой, в которой решены важные проблемы для неорганической химии и создано новое научное направление – магнитно-активные комплексы металлов с анионами аннелированных порфиразинов с выраженным поглощением в ближней ИК-области. Разработана и реализована система методов получения и модификации комплексов металлов с аннелированными порфиразинами в анионной форме. Впервые проведено системное исследование структуры, оптических и магнитных свойств таких

соединений, установлены закономерности между природой металлов-комплексообразователей, противокатионов, природой, упаковкой макроциклов и их физико-химическими свойствами. Совокупность полученных результатов можно квалифицировать как научное достижение.

Диссертационная работа Фараонова Максима Алексеевича «Комплексы металлов с анионами аннелированных порфиразинов: строение и физико-химические свойства» на соискание ученой степени доктора химических наук полностью соответствует требованиям пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых 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., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

По результатам заседания секций «Неорганическая химия» и «Координационная химия» Учёного совета ИОНХ РАН постановили:

1. Утвердить положительное заключение секций «Неорганическая химия» и «Координационная химия» Учёного совета ИОНХ РАН по диссертации Фараонова Максима Алексеевича «Комплексы металлов с анионами аннелированных порфиразинов: строение и физико-химические свойства» на соискание ученой степени доктора химических наук.
2. Рекомендовать диссертацию «Комплексы металлов с анионами аннелированных порфиразинов: строение и физико-химические свойства» к защите по специальности 1.4.1. Неорганическая химия (Химические науки) на диссертационном совете 01.4.001.91.
3. Утвердить д.х.н., проф. РАН Конарева Д.В. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), назначенного в качестве научного консультанта, в соответствии с нормативными актами ФИЦ ПХФ и МХ РАН.
4. Рекомендовать в качестве официальных оппонентов (давших на это свое письменное согласие):

- член-корреспондент РАН, д.х.н. Третьяков Евгений Викторович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук);
- член-корреспондент РАН, профессор, д.х.н. Шевельков Андрей Владимирович (Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»);
- д.х.н. Романенко Галина Владиславовна (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт «Международный томографический центр» Сибирского отделения Российской академии наук).

5. Рекомендовать в качестве ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, предоставившую на это письменное согласие.

Заключение принято на заседании секций «Неорганическая химия» и «Координационная химия» Учёного совета ИОНХ РАН 25 сентября 2025 г. (протокол № 4). Присутствовало на заседании 17 человек, в том числе: членов секции «Неорганическая химия» – 8 (из 24 чел.), членов секции «Координационная химия» – 9 (из 22 чел.), докторов химических наук – 13, кандидатов химических наук – 4.

Результаты голосования: «**за**» - 17 человек, «**против**» - **0** человек, «**воздержалось**» - **0** человек. Решения принято единогласно.

Председатель секции «Неорганическая химия» Учёного совета ИОНХ РАН,
чл.-корр. РАН

Жижин К.Ю.

Учёный секретарь секции «Неорганическая химия» Учёного совета ИОНХ РАН, кандидат химических наук

Симоненко Н.П.

Зам. редседателя секции «Координационная химия» Учёного совета ИОНХ РАН,
д.х.н.

Сидоров А.А.

И.о. учёного секретаря секции «Координационная химия» Учёного совета ИОНХ РАН, кандидат химических наук

Никифорова М.Е.