«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»

_____ Прокопов Н. И.

«24» апреля 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу **Кхан Надежды Анишевны** на тему **«Синтез и строение новых бензимидазол-содержащих комплексов серебра(I) с кластерными анионами бора $[B_nH_n]^{2-}$ (n = 10, 12)»**, представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1. Неорганическая химия (химические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования.

Химия бороводородов – это активно развивающаяся область неорганической химии, благодаря особенностям строения этих соединений, они нашли широкое практическое применение. Особый интерес представляет способность бороводородов и их производных к реакциям комплексообразования. В свою очередь, возник раздел химии на стыке свойств бороводородов и классической координационной химии.

Несмотря на то, что на текущий момент времени синтезировано и охарактеризовано большое количество координационных соединений серебра(I) с кластерными анионами бора, преимущественно они представлены комплексами с «классическими» органическими основаниями такими как азагетероциклические лиганды (2,2′-бипиридил, 2,2′-бипиридиламин или 1,10-фенантролин), и трифенилфосфин.

Предложенный в данной работе ряд производных бензимидазола является новой группой органических оснований, способных составить

конкуренцию кластерными анионам бора при формировании координационного полиэдра серебра(I). При этом вариативность в составе исследуемых оснований Шиффа, которая определяется типом линкерной группы и заместителями в их составных фрагментах, обуславливает специфику протекания комплексообразования и существенно расширяет границы рассматриваемых вопросов в ходе исследования.

Стоит отметить, что выбранные для данного исследования органические молекулы обладают широким спектром свойств, например, биологической или каталитической активностью или способностью к люминесценции, что может способствовать получению новых потенциально значимых объектов. Принимая во внимание широкий спектр активностей соединений на основе кластерных анионов бора, сочетание таких перспективных объектов в составе гибридного соединения может привести к созданию материалов с примечательными физическими и химическими свойствами. Как следствие, разработка эффективных способов направленного получения соединений заданного состава является приоритетной задачей для химика-синтетика. А планируемые исследования сочетают как фундаментальные, так и прикладные области знаний.

В связи с этим, диссертационная работа Кхан Н. А., посвященная разработке стратегий синтеза и синтезу координационных соединений серебра(I) с *клозо*-бороводородными анионами в присутствии производных бензимидазола различной модификации является продолжением развития представлений о координационной химии кластерных анионов бора, носит фундаментальный характер и является актуальной.

Структура и объём диссертации.

Работа состоит из введения, обзора литературных источников, экспериментальной части, обсуждения результатов, выводов и списка используемой литературы. Объем диссертации составляет 147 страниц машинописного текста и содержит 109 рисунков, 21 схему и 14 таблиц.

Научная новизна, практическая и теоретическая значимость и ценность полученных соискателем результатов и выводов.

В ходе исследования впервые получены фундаментальные данные о процессе комплексообразования Ag(I) – металла «мягкой» кислоты по Пирсону с кластерными анионами бора $[B_nH_n]^{2-}$ (n = 10, 12) в присутствии производных бензимидазола (L^1–L^{12}) и получены новые бензимидазол-содержащие координационные соединения. Полученные результаты позволили заключить, что исследуемые основания Шиффа являются конкурентоспособными «мягким» основаниям по отношению к кластерным анионам бора при формировании координационного полиэдра серебра(I).

На базе результатов, полученных для модельных систем $AgNO_3$ / L, определена стратегия проведения синтеза при использовании нитрата серебра(I) и солей кластерных анионов бора в качестве исходных реагентов, а именно порядок смешивания компонентов Ag^+ + $[B_nH_n]^{2-}$ (n = 10, 12) + L, а также предложено использование предварительно полученных соединений $\{Ag_2[B_nH_n]\}_m$ в качестве прекурсоров. При этом, независимо от состава исходных реагентов, комплексообразование проводилось при эквимолярном соотношении реагентов.

В результате получено и охарактеризовано 30 новых координационных соединений, подавляющее большинство которых охарактеризовано методом РСА. На основании полученных данных определены особенности координации производных бензимидазолов и кластерных анионов бора, в том числе обнаружено явление изомерии, реализуемое в биядерных комплексах $[Ag_2L_2[\mu\text{-}B_nH_n]]$ (n = 10, 12), а также проанализирована роль невалентных взаимодействий в дизайне координационных соединений Ag(I) с кластерными анионами бора.

Показано влияние состава исходных реагентов (соли или комплексы-прекурсоры, анион $[B_{10}H_{10}]^{2-}$ или $[B_{12}H_{12}]^{2-}$), а также влияние типа линкерной

группы и функциональных заместителей в составе производных бензимидазола L на ход исследуемых реакций, в том числе на наличие сопутствующих комплексообразованию процессов (деградация органической молекулы, внутримолекулярный перенос протона и циклизация).

Достоверность и обоснованность сформулированных автором выводов и научных положений. Достоверность полученных результатов обеспечивается применением современных физико-химических методов исследования (рентгеноструктурный анализ, инфракрасная спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, элементный анализ, электронная спектроскопия), данные которых хорошо воспроизводятся и согласуются между собой и с известными опубликованными материалами других исследователей. Полученные выводы и результаты научно обоснованы и соответствуют современным научным химическим представлениям.

Научная специальность, которой соответствует диссертация. Диссертационная работа Кхан Н. А. соответствует паспорту научной специальности 1.4.1 Неорганическая химия (отрасль наук – химические), в пунктах 1-3, 5-7.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы. Результаты и выводы по диссертационной работе Кхан Н. А. перспективны для использования в исследованиях и работах, проводимых в соответствующих областях неорганической, координационной химии, а также материаловедения. Данные, полученные в работе, могут быть использованы для получения люминесцентных материалов, биологически активных соединений. Результаты исследования могут быть применены в следующих профильных организациях: в Институте органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Институте неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Институте органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, в Обособленном структурном подразделении «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН» Институт органической и физической

химии им. А.Е. Арбузова, Институте металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН, Институте элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН и др.

Несмотря на общее положительное впечатление о диссертации, при изучении рукописи возникли **замечания и вопросы**:

1. В разделе «Актуальность работы» указывается, что выбранные для исследования производные бензимидазола и кластерные анионы бора обладают широким спектром свойств. Какие конкретно свойства ожидаются от синтезированных соединений и проводились какие-либо исследования по данному вопросу?
2. Если автор позиционирует синтезированные соединения как потенциальные материалы с заданными функциональными свойствами, то было бы уместно провести рентгенофазовый анализ.
3. В ходе комплексообразования с бензимидазол-содержащим имином с линкерной –N=CH– группой авторы объясняют невозможность получения комплекса с координированным кластерным анионом бора при сохранении структуры данного лиганда внутримолекулярной водородной связью между OH-группой заместителя и атомом азота линкерной имино-группы, препятствующей образованию внутримолекулярного контакта с атомом металла. Проводилось ли исследование с похожим имином, но не содержащим гидрокси-группу в орто-положении фенильного цикла?
4. В разделе «Комплексообразование с бензимидазол-содержащим имином L^4» с линкерной группой –N=CH– в сухом боксе автор указывает, что идентификацию компонентов смесей проводили на основании данных РСА по совпадению параметров кристаллической ячейки монокристаллов полученных соединений с соединениями известного строения. Следует указать ссылки на статьи с данными РСА для известных соединений.

5. В тексте диссертации встречаются грамматические ошибки, повторяющиеся слова, а также не слишком удачные формулировки.

Тем не менее, вышеперечисленные замечания носят дискуссионный характер, не снижают общей научной новизны и практической значимости, а также общего высокого качества диссертационной работы Кхан Н. А.

Заключение. Диссертация Кхан Надежды Анишевны на тему **«Синтез и строение новых бензимидазол-содержащих комплексов серебра(I) с кластерными анионами бора $[B_nH_n]^{2-}$ (n = 10, 12)»** является законченной научно-квалификационной работой, в которой решен ряд важных, актуальных задач, имеющих большую значимость для развития неорганической и координационной химии.

Диссертация Кхан Н. А. **«Синтез и строение новых бензимидазол-содержащих комплексов серебра(I) с кластерными анионами бора $[B_nH_n]^{2-}$ (n = 10, 12)»** по своей актуальности, а также новизне, достоверности, практической значимости и ценности полученных результатов и выводов полностью соответствует требованиям, 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 ее автор, **Кхан Надежда Анишевна**, несомненно **заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата химических наук** по специальности 1.4.1 Неорганическая химия (химические науки).

Отзыв подготовлен Савинкиной Еленой Владимировной – доктором химических наук по специальности 02.00.01 Неорганическая химия, профессором кафедры неорганической химии им. А.Н. Реформатского Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА.

Отзыв по диссертации Кхан Надежды Анишевны был заслушан, обсужден и утвержден на заседании (кафедры неорганической химии им. А.Н. Реформатского Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА от 04.04.2026 г., протокол № 9.

Савинкина Е. В.

«24» апреля 2026 г.

Почтовый адрес: 119571, г. Москва, проспект Вернадского, д. 86, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА — Российский технологический университет», Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова.
Тел составителя отзыва: +7(903)-776-21-06, электронный адрес составителя отзыва: e.savinkina@mail.ru

Подпись руки Савинкиной Е.В.

удостоверяю Начальник отдела Управления кадров

ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) * УПРАВЛЕНИЕ КАДРОВ * МОСКВА

Сведения о ведущей организации

по диссертационной работе **Кхан Надежды Анишевны** на тему **«Синтез и строение новых бензимидазол-содержащих комплексов серебра(I) с кластерными анионами бора $[B_nH_n]^{2-}$ (n = 10, 12)»**, представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.1. Неорганическая химия

Полное название организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	РТУ МИРЭА
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования РФ
Почтовый индекс, адрес организации	119571, г. Москва, проспект Вернадского, д. 86
Веб-сайт	https://www.mirea.ru/
Телефон	+7 499 215-65-65
Адрес электронной почты	rector@mirea.ru
Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	1. Rodriguez Pineda, R.A., Karavaev, I.A., **Savinkina, E.V.** *et al.* Synthesis, Structure, and Properties of Coordination Compounds of Silver(I) Nitrate with Selected Amide Ligands. *Russ. J. Inorg. Chem.* **70**, 1991–2000 (**2025**). https://doi.org/10.1134/S0036023625602892 2. Karavaev, I.A., **Savinkina, E.V.**, Grigoriev, M.S. *et al.* Coordination Compounds of Rare Earth Nitrates with Acetamide. *Russ J Coord Chem* **51**, 749–757 (**2025**). https://doi.org/10.1134/S1070328425600627 3. Polukhin, M.S., Karavaev, I.A., **Savinkina, E.V.** *et al.* Coordination Compounds of Rare-Earth Nitrates with *N,N*-Dimethylacetamide. *Russ. J. Inorg. Chem.* **70**,

	708–722 **(2025)**. https://doi.org/10.1134/S0036023625600534 4. Akulinin, P.V., **Savinkina, E.V.** & Grigoriev, M.S. Features of Changes in Composition and Structures of Rare-Earth Halide Complexes with Acethylurea. *Russ. J. Inorg. Chem.* **70**, 521–529 **(2025)**. https://doi.org/10.1134/S0036023625600571 5. Polukhin, M.S., **Savinkina, E.V.**, Karavaev, I.A. *et al.* Coordination Compounds of Uranyl Nitrate with Some Amide Ligands. *Russ J Coord Chem* **51**, 58–67 **(2025)**. https://doi.org/10.1134/S1070328424600931 6. **Savinkina, E.V.**, Gerusova, A.E., Davydova, M.N. *et al.* Syntheses, Crystal Structures, and Dipole Moments of Zinc Halide Complexes with Methylurea and Dimethylacetamide. *Russ. J. Inorg. Chem.* **69**, 1853–1859 **(2024)**. https://doi.org/10.1134/S0036023624602502 7. Bettels E. K., Polukhin M. S., Karavaev I. A., **Savinkina E. V.**, Buzanov G. A., Kubasov A. S., Retivov V. M. Yttrium(III) Complexes with Carbamide and Dimethylacetamide: Composition, Structure, and Thermal Decomposition. *Russ. J. Inorg. Chem.* **69**, 1510–1519 **(2024)**. https://doi.org/10.1134/S0036023624602289 8. Akulinin, P.V., **Savinkina, E.V.**, Grigoriev, M.S. *et al.* Structural Diversity of Rare Earth Bromide Complexes with Acetylurea. *Russ. J. Inorg. Chem.* **69**, 720–729 **(2024)**. https://doi.org/10.1134/S0036023624600072 9. Petrichko, M.I., Karavaev, I.A., **Savinkina, E.V.** *et al.* Rare-Earth Nitrate Complexes with

	Dimethylformamide. *Russ. J. Inorg. Chem.* **68**, 415–423 (**2023**). https://doi.org/10.1134/S0036023623600193 10. Karavaev, I.A., **Savinkina, E.V.**, Ponkrashina, S.S. *et al.* Complexes of Zinc Nitrate and Lanthanide Nitrates with Urea in the 1 : 2 Ratio. *Russ. J. Inorg. Chem.* **68**, 847–852 (**2023**). https://doi.org/10.1134/S0036023623600880

«Верно»

Заместитель первого проректора,
кандидат химических наук Ефимова Ю.А.

24.04.2026