«УТВЕРЖДАЮ»
И.о. директора 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)

«24» июня 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
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 «Химическое управление релаксационной динамикой комплексов кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот» выполнена в Лаборатории химии координационных полиядерных соединений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН).

В период 2016–2021 гг. соискатель Светогорова Анна Константиновна, 17.09.1998 г.р., обучалась в Российском химико-технологическом университете им. Д.И. Менделеева. В 2021–2025 гг. обучалась в аспирантуре в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук и работала в должности младшего научного сотрудника с 2022 года в Лаборатории химии координационных полиядерных соединений ИОНХ РАН.

Научный руководитель – к.х.н. Зорина-Тихонова Екатерина Николаевна, с.н.с. лаборатории химии координационных полиядерных соединений ИОНХ РАН.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертационная работа Светогоровой Анны Константиновны носит фундаментальный характер и посвящена изучению влияния структуры координационных соединений кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот на динамику их медленной магнитной релаксации.

В настоящее время научный интерес в области молекулярного магнетизма вызывают комплексы кобальта(II) из-за крамерсовой природы иона, относительно высокого собственного магнитного момента и значительной магнитной анизотропии. В

координационных соединениях ионы Co^{2+} демонстрируют широкий спектр типов координационного окружения в зависимости от строения лиганда и проявляют различные типы магнитной анизотропии. Поскольку параметры анизотропии определяются электронной структурой иона, управление типом и величиной анизотропии может осуществляться посредством направленной модификации координационного окружения и симметрии кристаллического поля.

На основе детального анализа литературных источников в диссертации систематизированы современные представления о физической природе мономолекулярного магнетизма – магнитной анизотропии и медленной магнитной релаксации, а также рассмотрены методики синтеза, описание строения и магнитные свойства координационных соединений кобальта(II) с анионами карбоновых кислот и дикетонатами, депонированных в Кембриджской базе структурных данных, что отражает современное состояние исследований в данной области.

В экспериментальной части диссертации описаны примененные в работе физико-химические методы анализа, а также методики синтеза новых координационных соединений. Разработанные методики позволили получить ряд новых координационных соединений кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот, проявляющих свойства мономолекулярных магнитов.

В диссертации поставлены и решены актуальные задачи современной физической химии. На примере координационных соединений кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот предложена и экспериментально подтверждена стратегия управления динамикой медленной магнитной релаксации и вкладом квантового туннелирования намагниченности путем модификации лигандного окружения и расстояния между парамагнитными металлоцентрами в кристаллической решетке. Обнаружено, что уплотнение кристаллической решетки путем введения катионов диамагнитных s-металлов позволяет экранировать спиновую систему от оптико-акустических фононов и значительно увеличивать время релаксации. Полученные соединения устойчивы на воздухе, а их синтез не требует жестких условий, что в сочетании с прогнозируемыми магнитными характеристиками открывает перспективы для создания методологии направленного синтеза комплексов со свойствами мономолекулярных магнитов, находящих потенциальное применение в спинтронике и квантовой инженерии.

Цель работы: установление влияния заместителя в анионе замещенной малоновой кислоты и диамагнитного катиона на релаксационные характеристики координационных соединений кобальта(II).

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи работы**:

1. разработка методик синтеза гомо- и гетерометаллических соединений кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот;
2. определение строения и фазовой чистоты полученных соединений методами монокристальной и порошковой рентгеновской дифракции;

3. проведение квантово-химических расчетов *ab initio* и DFT для определения электронной структуры ионов Co^{2+}, параметров расщепления в нулевом поле и обменных магнитных взаимодействий;
4. определение статической и динамической магнитной восприимчивости соединений;
5. установление взаимосвязи между строением лиганда, строением комплекса и магнитными характеристиками.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.
Личный вклад диссертанта заключался в выполнении всего объема синтетической работы, выделении и очистке образцов, исследовании их методами ИК-спектроскопии и монокристальной рентгеновской дифракции, проведении квантово-химических расчетов (*ab initio*, DFT), интерпретации данных статической и динамической магнитной восприимчивости. Автор принимал участие в постановке задач исследования и формулировании выводов.

Степень достоверности результатов проведенных соискателем исследований, их апробация.

Достоверность полученных результатов и выводов, а также непротиворечивая интерпретация полученных данных обеспечивается применением высокоточных физико-химических методов (рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ, магнетохимические измерения), подтверждением данных квантово-химическими расчетами, а также независимой экспертной оценкой редакционных коллегий журналов, в которых опубликованы материалы работы.

Результаты диссертационной работы представлены на конференциях международного и всероссийского уровней: The Russian National Cluster of Conferences on Inorganic Chemistry "InorgChem 2018" (Astrakhan, Russia, 2018), International conference "Organometallic Chemistry Around the World" (7th Razuvaev Lectures) (Nizhny Novgorod, Russia, 2019), X International Conference "High-Spin Molecules and Molecular Magnets" (Novosibirsk, Russia, 2023), The 18th International Conference on Molecule-Based Magnets (ICMM2023) (Nanjing, China, 2023), XVIII Международной Чугаевской конференции по координационной химии (Ольгинка, 2021), VI Школе-конференции молодых ученых «Неорганические соединения и функциональные материалы» (Новосибирск, 2022), IX Всероссийской конференции по химии полиядерных соединений и кластеров «Кластер-2022» (Нижний Новгород, 2022), Всероссийской конференции «VIII Российский день редких земель» (Нижний Новгород, 2024), XIX Чугаевской конференции по координационной химии (Казань, 2025), Всероссийской конференции «VIII Разуваевские чтения» (Нижний Новгород, 2025), VIII–XV Конференциях молодых ученых по общей и неорганической химии (Москва, 2018–2026).

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

1. разработаны методики синтеза гомо- и гетерометаллических замещенных малонатов кобальта(II), проявляющих свойства мономолекулярных магнитов, стабильных к кислороду и влаге воздуха;
2. на примере замещенных малонатов кобальта(II) предложена и экспериментально подтверждена стратегия управления динамикой медленной магнитной релаксации путем изменения заместителей в дианионах кислот и катионов диамагнитных металлов;
3. показана возможность регулирования вклада квантового туннелирования намагниченности (КТН) в канал медленной магнитной релаксации за счет изменения расстояния Co···Co в кристаллической решетке;
4. установлена связь между плотностью кристаллической решетки и магнитными свойствами. Показано, что уплотнение решетки за счет введения катионов диамагнитных s-металлов позволяет экранировать спиновую систему от оптико-акустических фононов и тем самым увеличивать время релаксации.

Исследования, выполненные в рамках диссертационной работы, углубляют понимание физических аспектов, определяющих медленную магнитную релаксацию в сложных координационных системах. На основе детального теоретического рассмотрения электронной структуры ионов Co^{2+} в соединениях и динамики их релаксации были систематизированы выявленные закономерности.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена высокая эффективность используемых в работе лигандов для направленного синтеза моноядерных, а также гомо- и гетерометаллических полиядерных соединений с заданными магнитными свойствами.

Разработанные методики синтеза новых соединений не требуют жестких условий, таких как проведение реакций в инертной атмосфере, при длительном нагревании или при повышенном давлении. Сочетание прогнозируемых магнитных характеристик, простоты синтеза, стабильности и наличия медленной магнитной релаксации делает полученные координационные соединения перспективными кандидатами для создания новых элементов для записи информации, логических кубитов.

Ценность научных работ соискателя состоит в изучении влияния заместителя в анионах замещенных малоновых кислот и диамагнитного гетерометалла на динамику медленной магнитной релаксации комплексов кобальта(II). Научные работы включали разработку методик синтеза новых гомо- и гетерометаллических координационных соединений, исследование их методом магнетометрии в статическом и динамическом режимах и проведение квантово-химических расчетов для установления параметров магнитной анизотропии ионов Co^{2+} и обменных магнитных взаимодействий.

Научная специальность, которой соответствует диссертация.

Диссертационная работа Светогоровой Анны Константиновны соответствует паспорту научной специальности 1.4.4 – Физическая химия (отрасль науки – химические), в пунктах:

П.1. Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, а также их спектральных характеристик.

П.5. Изучение физико-химических свойств изолированных молекул и молекулярных соединений при воздействии на них внешних электромагнитных полей, потока заряженных частиц, а также экстремально высоких/низких температурах и давлениях.

П.11. Получение методами квантовой химии и компьютерного моделирования данных об электронной структуре, поверхностях потенциальной и свободной энергии, реакционной способности и динамике превращений химических соединений, находящихся в различном окружении, в том числе в кластерах, клатратах, твердых и жидкокристаллических матрицах, в полостях конденсированных среди и белковом окружении.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

По материалам научно-квалификационной работы (диссертации) опубликовано 4 статьи в рецензируемых зарубежных и российских научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, ядро РИНЦ, а также 19 работ представлены в виде тезисов докладов научных конференций.

Статьи:

1. **A.K. Matiukhina (Svetogorova)**, E.N. Zorina-Tikhonova, D.O. Blinou, R.D. Svetogorov, P.N. Vasilyev, N.N. Efimov, M.A. Kiskin, I.L. Eremenko. The influence of pseudo-tetrahedral coordination environment of Co^{2+} ion in polymeric dimethylmalonates on the magnetic anisotropy and slow magnetic relaxation. // J. Magn. Magn. Mater., 2025, v. 614, p. 172650. DOI: 10.1016/j.jmmm.2024.172650.
2. E.N. Zorina-Tikhonova, **A.K. Matyukhina (Svetogorova)**, A.S. Chistyakov, A.V. Vologzhanina, A.A. Korlyukov, N.V. Gogoleva, V.A. Novikova, E.V. Belova, E.A. Ugolkova, A.A. Starikova, D.V. Korchagin, K.A. Babeshkin, N.N. Efimov, M.A. Kiskin, I.L. Eremenko. Synthesis, structure, magnetic properties and thermal behaviour of Ba–M^{II} (M^{II} = Mn, Co, Cu, and Zn) allylmalonates // New J. Chem., 2022, v. 46, pp. 21245–21256. DOI: 10.1039/D2NJ03751C.
3. **A.K. Matyukhina (Svetogorova)**, E.N. Zorina-Tikhonova, A.S. Goloveshkin, K.A. Babeshkin, N.N. Efimov, M.A. Kiskin, I.L. Eremenko. Field-Induced Slow Magnetic Relaxation in Co^{II} Cyclopropane-1,1-dicarboxylates. // Molecules, 2022, v. 27(19), p. 6537. DOI: 10.3390/molecules27196537.
4. Е.Н. Зорина-Тихонова, **А.К. Матюхина (Светогорова)**, Г.Г. Александров, М.А. Кискин, А.А. Сидоров, И.Л. Еременко. Влияние исходных солей Co^{II} на состав и строение диметилмалонатов Cs-Co^{II}. // Журнал неорганической химии, 2021, т. 66, с. 178–186. DOI: 10.31857/S0044457X21020227.

Тезисы докладов:

1. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Блинов Д.О., Кискин М.А., Еременко И.Л. Химические способы управления динамикой медленной магнитной релаксации замещенных малонатов кобальта(II). XVI Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2026, Москва, Россия.
2. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Ефимов Н.Н., Кискин М.А., Еременко И.Л. Варьирование диамагнитного разбавителя как способ контроля каналов медленной магнитной релаксации в диметилмалонатах Co(II). XXIX Международная Чугаевская конференция по координационной химии, 2025, Казань, Россия.
3. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Ефимов Н.Н., Кискин М.А., Еременко И.Л. Влияние диамагнитного разбавителя на молекулярный магнетизм замещенных малонатов кобальта(II). Всероссийская конференция с международным участием VIII Разуваевские Чтения, 2025, Нижний Новгород, Россия.
4. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Гоголева Н.В., Блинов Д.О., Васильев П.Н., Ефимов Н.Н., Кискин М.А., Еременко И.Л. Влияние природы диамагнитного разбавителя на магнитные свойства комплексов Co(II) с дианионами циклопропан-1,1-дикарбоновой кислоты. XV Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2025, Москва, Россия.
5. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Гоголева Н.В., Блинов Д.О., Ефимов Н.Н., Короткова Н.А, Кискин М.А., Еременко И.Л. 1D координационный полимер CoII с дианионами этилмалоновой кислоты и его Zn-разбавленные аналоги: синтез, структура, магнитные свойства и квантово-химические расчеты. XIV Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2024, Москва, Россия.
6. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Блинов Д.О., Ефимов Н.Н., Кискин М.А., Еременко И.Л. Влияние иона лантанида на магнитные свойства гетерометаллических циклопропан-1,1-дикарбоксилатов $\{M^{II}_2Ln^{III}\}$ (M^{II} = Co-Ni, Ln^{III} = Gd-Lu). Всероссийская конференция с международным участием «VIII Российский день редких земель», 2024, Нижний Новгород, Россия.
7. Anna Matiukhina (Svetogorova), Ekaterina Zorina-Tikhonova, Nikolay Efimov, Mikhail Kiskin, Igor Eremenko. Synthetic methods for affecting the magnetic properties of substituted malonate cobalt(II) complexes. The 18th International Conference on Molecule-Based Magnets (ICMM2023), 2023, Nanjing, China.

8. A.K. Matyuknina (Svetogorova), E.N. Zorina-Tikhonova, N.N. Efimov, D.O. Blinou, M.A. Kiskin and I.L. Eremenko. Magnetostructural correlations in cobalt(II) substituted malonate complexes. X International Conference "High-Spin Molecules and Molecular Magnets", 2023, Novosibirsk, Russia.
9. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Ефимов Н.Н., Кискин М.А., Еременко И.Л. Магнетоструктурные корреляции в малонатных комплексах кобальта(II). XIII Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2023, Москва, Россия.
10. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Кискин М.А., Ефимов Н.Н., Еременко И.Л. Зависимость магнитной анизотропии малонатных комплексов Co(II) от координационного окружения иона металла. IX Всероссийская конференция по химии полиядерных соединений и кластеров «Кластер-2022», 2022, Нижний Новгород, Россия.
11. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Ефимов Н.Н., Кискин М.А., Еременко И.Л. Дизайн молекулярных магнитов на основе ионов кобальта(II) и анионов замещенных малоновых кислот. XII Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2022, Москва, Россия.
12. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Ефимов Н.Н., Кискин М.А., Еременко И.Л. Влияние координационного окружения Co^{II} в гомо- и гетерометаллических малонатных комплексах на магнитную анизотропию. VI Школа-конференция молодых ученых «Неорганические соединения и функциональные материалы», 2022, Новосибирск, Россия.
13. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Корлюков А.А., Головешкин А.С., Бабешкин К.А., Сидоров А.А., Еременко И.Л. Синтез, строение и магнитные свойства гетерометаллических циклопропан-1,1-дикарбоксилатов кобальта(II) и никеля(II). XXVIII Международная Чугаевская конференция по координационной химии, 2021, Туапсе, Ольгинка, Краснодарский край, Россия.
14. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Корлюков А.А., Вологжанина А.В., Головешкин А.С., Ефимов Н.Н., Сидоров А.А., Еременко И.Л. Гомо- и гетерометаллические комплексы Co(II) и Ni(II) с анионами замещенных малоновых кислот. XI Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2021, Москва, Россия.
15. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Бабешкин К.А., Ефимов Н.Н., Сидоров А.А., Еременко И.Л. Циклопропан-1,1-дикарбоксилаты Co^{II} и Ni^{II} с катионами

щелочных металлов. X Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2020, Москва, Россия.

16. A.K. Matyukhina (Svetogorova), E.N. Zorina-Tikhonova, A.V. Vologzhanina, V.A. Karnoukhova, A.A. Sidorov and I.L. Eremenko. Co^{II} and Ni^{II} substituted malonates with single-charged cations of different nature. International conference "Organometallic Chemistry Around the World" (7^{th} Razuvaev Lectures), **2019**, Nizhny Novgorod, Russia.
17. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Вологжанина А.В., Карноухова В.А., Сидоров А.А., Еременко И.Л. Замещённые малонаты Co^{II} и Ni^{II} с однозарядными катионами различной природы. IX Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2019, Москва, Россия.
18. A.K. Matyukhina (Svetogorova), E.N. Zorina-Tikhonova, V.A. Karnoukhova, A.A. Sidorov, I.L. Eremenko. Synthesis and structure of Co^{II} and Ni^{II} complexes with alkali metal atoms (Rb, Cs) and anions of cyclopropan-1,1-dicarboxylic acid. The Russian National Cluster of Conferences on Inorganic Chemistry "InorgChem 2018", 2018, Astrakhan, Russia.
19. Матюхина (Светогорова) А.К., Зорина-Тихонова Е.Н., Карноухова В.А., Сидоров А.А., Еременко И.Л. Синтез и строение соединений Co^{II} и Ni^{II} с атомами щелочных металлов (Rb, Cs) и анионами циклопропан-1,1-дикарбоновой кислоты. VIII Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии, 2018, Москва, Россия.

Таким образом, диссертация Светогоровой Анны Константиновны является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены значимые задачи для физической химии: в ходе исследования установлено влияние структурных аспектов координационных соединений кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот и диамагнитных гетерометаллов на динамику медленной магнитной релаксации.

Диссертационная работа Светогоровой Анны Константиновны «Химическое управление релаксационной динамикой комплексов кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот» на соискание ученой степени кандидата 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 кандидата наук.

По результатам заседания секции «Координационная химия» Учёного совета ИОНХ РАН **постановили**:

1. Утвердить положительное заключение секции «Координационная химия» по диссертации Светогоровой Анны Константиновны «Химическое управление

релаксационной динамикой комплексов кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот» на соискание ученой степени кандидата химических наук.

2. Рекомендовать диссертацию Светогоровой Анны Константиновны «Химическое управление релаксационной динамикой комплексов кобальта(II) с анионами замещенных малоновых кислот» к защите по специальности 1.4.4. – Физическая химия (Химические науки) на диссертационном совете 01.4.001.93.

3. Назначить в качестве научного руководителя: к.х.н., с.н.с. Зорину-Тихонову Екатерину Николаевну с ее письменного согласия.

4. Рекомендовать в качестве официальных оппонентов:

- д.х.н. Абрамов Павел Александрович, профессор Исследовательской школы химических и биомедицинских технологий Томского политехнического университета;
- д.х.н. Павлов Александр Александрович, заведующий центром «Цифровое материаловедение» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, ведущий научный сотрудник;

5. Рекомендовать в качестве ведущей организации Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук».

Заключение принято на заседании секции «Координационная химия» Учёного совета ИОНХ РАН 09 июня 2026 г. (протокол № 5). Присутствовало на заседании 26 человек, в том числе: членов секции «Координационная химия» – 10 (из 26 чел.), докторов химических наук – 7, кандидатов химических наук – 12.

Результаты голосования: «**за**» – **10** человек, «**против**» – **0** человек, «**воздержалось**» – **0** человек. Решение принято единогласно.

Председатель секции «Координационная химия»
Учёного совета ИОНХ РАН,
академик РАН, д.х.н. Еременко И.Л.

Учёный секретарь секции «Координационная химия»
Учёного совета ИОНХ РАН, к.х.н. Никифорова М.Е.