

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГГ УрО РАН,
д.г.м.н., профессор РАН



Д.А. Зедгенизов

« 25 » 02 2025г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук» на диссертационную работу **Каневой Екатерины Владимировны «Кристаллохимия редких и сложных силикатов щелочных пород**», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Актуальность темы диссертации. В последние годы возросло внимание к изучению петрологии и геохимии магматизма повышенной щелочности, в связи с чем большой интерес представляет сопоставление генетических особенностей одинаковых минералов, образующихся в разных месторождениях, а также сравнительный анализ их кристаллохимии и структуры. Однако для ряда массивов щелочных пород сведения о кристаллохимии составляющих их минералов представлены в недостаточном объеме: многие редкие щелочные силикаты со сложными кристаллическими структурами (смешанные, трубчатые, гибридные, слоистые и др. кремнекислородные радикалы) скудно охарактеризованы, а детальное изучение их свойств ранее практически не проводилось, и требуются глубокие кристаллохимические исследования; ряд ранее описанных минералов также требует пересмотра и повторного исследования с использованием комплексного подхода, включающего современные методы изучения внутреннего строения минералов. Знание атомной структуры и механизмов трансформации минералов важно для понимания сущности геологических процессов, приводящих к образованию массивов. Подобные работы проводятся специалистами по всему миру, что подтверждает актуальность настоящего исследования и его соответствие мировому уровню.

Кроме того, материалы на основе данных структур могут найти применение в различных областях: фотонике, нелинейной оптике, разработке аккумуляторов, как стеклокерамические материалы и так далее. Таким образом, тематика работы Каневой Екатерины

Владимировны находится в русле перспективного направления использования природоподобных технологий для получения новых материалов и отвечает п. 27 Перечня важнейших наукоемких технологий согласно Указу Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529. При этом применение и комбинирование методов исследования и комплексный анализ данных открывают большие возможности для более глубокого понимания соотношения «генезис – структура – свойства» минералов.

Работа Каневой Екатерины Владимировны, таким образом, направлена на развитие комплексного подхода для наиболее полного изучения строения, химического состава и колебательных свойств группы редких и сложных минералов щелочных пород, сравнительное кристаллохимическое описание и выявление зависимостей и связей между кристаллической структурой, свойствами и условиями образования минералов. Работа является актуальной в научном и практическом аспектах.

Соответствие специальности. Работа соответствует паспорту научной специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», в частности разделам: 2. Физика, химия и термодинамика минералов, современные физико-химические методы исследования минералов; 3. Генетическая минералогия, исследование парагенезисов минералов и эволюции минералогенеза в природных и техногенных системах; экспериментальная минералогия; 5. Минералогия нетрадиционных и потенциально новых видов полезных ископаемых, минералогическое материаловедение и синтез минералоподобных материалов; 8. Кристаллография и кристаллохимия минералов, их техногенных и синтетических аналогов; 10. Рентгеноструктурный анализ и другие методы изучения строения кристаллов; 13. Изучение химического состава природного вещества в геологических и связанных с ними системах (земной коре, глубинных геосферах Земли, гидросфере, атмосфере, техносфере, внеземных объектах, живом веществе) и процессах, исследование состояния, форм нахождения, закономерностей распространения и поведения (распределения, концентрирования, фракционирования) химических элементов и изотопов; 15. Экспериментальные физико-химические исследования, направленные на выявление законов образования минеральных фаз и распределения химических элементов и их изотопов между различными фазами и минералообразующей средой; физико-химическое и математическое моделирование природных процессов массопереноса и поведения химических элементов и их изотопов.

Основное содержание диссертации. Диссертационная работа Каневой Е.В. посвящена сравнительной и высокотемпературной кристаллохимии редких и сложных силикатов щелочных пород. В работе приведены общие сведения о редких и сложных силикатах щелочных пород, подробно описаны результаты сравнительных кристаллографических

исследований (1) цирконо- и титаносиликатов с гетерополиэдрическим каркасом и микропористых каркасных алюмосиликатов (власовита, эльпидита, армстронгита, нарсарсукуита, гакманита, канкринита); (2) кольцевых силикатов (согдианита, одинцовита), (3) слоистых силикатов (туркестанита, карлтонита, федорита); (4) силикатов с трубчатым и гибридным анион-радикалом в структуре (франкаменита, мизерита, агреллита, тинаксита, токкоита); рассмотрены результаты высокотемпературных исследований в области кристаллохимии редких и акцессорных силикатов щелочных пород (агреллита, чароита, согдианита) а также боросиликатов стиллуэлита-(Ce), ридмерджерита), слоистых силикатов (федорита, фторкарлтонита)

Структура диссертации. Во введении обоснована актуальность и научная новизна работы, поставлены цель и задачи диссертационного исследования, а также сформулированы положения, выносимые на защиту. Первая глава диссертации посвящена литературному обзору состояния изученности кристаллохимии и перспектив применения основных объектов исследования – редких и сложных силикатов щелочных пород, в частности, цирконо- и титаносиликатов с гетерополиэдрическим каркасом, микропористых каркасных алюмосиликатов, кольцевых силикатов и бериллосиликатов, филлосиликатов и т.д. Во второй главе описываются результаты сравнительного кристаллохимического анализа цирконо- и титаносиликатов на примере власовита из Бурпалинского массива, эльпидита из Бурпалинского массива и массива Хан-Богдо, армстронгита из массива Хан-Богдо и др. силикатов: подробно охарактеризована кристаллическая структура минералов (в том числе разных форм одного и того же минерала), описаны кристаллохимические формулы, предложены схемы изоморфного замещения, выявлены топологические сходства минералов и их структурно-генетическая связь. В третьей главе приводятся результаты комплексного кристаллохимического изучения кольцевых силикатов, например, образцов железообогатленного согдианита из пегматитов в щелочных граносиенитах массива Дара-й-Пиоз и одинцовита из сиенитов Мурунского массива; комплексом методов охарактеризована кристаллическая структура минералов, описаны кристаллохимические формулы, предложены схемы изоморфного замещения, выявлены пути потенциального применения описанных минералов и минералоподобных матриц. В четвертой главе рассмотрена кристаллохимия слоистых силикатов туркестанита из массива Дара-й-Пиоз, карлтонита из массива Мон-Сент-Илер, фторкарлтонита, федорита из Мурунского массива, приведены результаты кристаллохимических исследований, количественно охарактеризована сложность кристаллических структур, описаны кристаллохимические формулы, оценено содержание фтора, водных и карбонатных группировок, предложены схемы изоморфного замещения, выявлены пути потенциального применения описанных минералов и минера-

лоподобных матриц, описана специфика генезиса силикатов. Глава 5 посвящена сравнительной кристаллохимии силикатов с трубчатым и гибридным анион-радикалом в структуре, исследования выполнены для образцов франкаменита из Мурунского массива, мизерита и агреллита из двух щелочных массивов (Мурунский и массив Дара-й-Пиоз), тинакита и токкоита из Мурунского массива. Комплексом методов охарактеризована кристаллическая структура минералов, подробно описаны и сравнены кристаллохимические особенности образцов минерала из одного массива, количественно оценена сложность кристаллических структур, установлены их кристаллохимические формулы, предложены схемы изоморфного замещения, выявлены пути потенциального применения описанных минералов и минералоподобных матриц. В главе 6 приведены результаты высокотемпературных кристаллохимических исследований редких и акцессорных силикатов щелочных пород на примере агреллита и чароита из Мурунского массива, согдианита из массива Дара-й-Пиоз, боросиликатов стиллуэлита-(Ce) и ридмерджнерита из массива Дара-й-Пиоз, фторкарлтонита из Мурунского массива, выявлены структурные особенности и описано влияние температуры на поведение внекаркасных и межслоевых катионов и анионов, выявлен характер анизотропности теплового расширения, рассчитаны коэффициенты и построены фигуры тензоров теплового расширения кристаллов, описаны этапы дегидратационных и структурных процессов в кристаллах при повышенных температурах. В заключении сформулированы и обобщены основные результаты диссертации.

Научная новизна полученных результатов. Уточнены кристаллические структуры и проведен детальный кристаллохимический анализ 20 природных соединений, относящихся к классам цирконо- и титаносиликатов, алюмосиликатов, боросиликатов, а также слоистых, кольцевых, трубчатых и силикатов с гибридным анион-радикалом и несколькими типами анион-радикалов в структуре, среди которых выявлен и зарегистрирован Международной комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации новый минеральный вид – фторкарлтонит. Для многих минеральных видов получен значительный объем данных, в том числе об особенностях, типоморфных для щелочной формации. Таким образом, обобщение ранее опубликованной и новой информации позволило сделать попытку сравнительно охарактеризовать минералы и показать их значение для прикладных и фундаментальных областей знания – материаловедения, генетической минералогии и геохимии. Впервые полученные результаты монокристалльного рентгеноструктурного анализа в комбинации с данными электронно-микронного анализа и ИК-спектроскопии позволили комплексно охарактеризовать такие минеральные виды, как: туркестанит и агреллит из массива Дара-й-Пиоз, нарсарсуцит и мизерит из Мурунского массива и гакманит из Инаглинского массива. Кри-

сталлическая структура и химический состав минерала фторкарлтонита из Мурунского массива определены впервые. Уточнение структуры канкринита из Жидойского массива, карлтонита из массива Мон-Сент-Илер, а также одинцовита, франкаменита, мизерита, тинаксита и токкоита из Мурунского щелочного комплекса позволило существенно дополнить предложенные ранее модели и получить новые данные о заселенности полиэдрических и анионных позиций. Уточнение структур армстронгита из массива Хан-Богдо, власовита из Бурпалинского массива и Fe-обогащенного согдианита из массива Дара-й-Пиоз скорректировало их симметрию и/или химические формулы, а детальный кристаллохимический анализ образцов минерала эльпидита из Бурпалинского месторождения и массива Дара-й-Пиоз позволил описать механизмы ионообменного процесса, происходящего в структуре. Впервые изучены кристаллохимические аспекты высокотемпературного поведения федорита и фторкарлтонита из Мурунского массива, а также исследованы особенности кристаллохимии боросиликатов стиллуэлита-(Ce) и ридмерджерита из массива Дара-й-Пиоз в процессе нагревания и сравнены с ранее полученными данными.

Практическая значимость. Новые данные, полученные в работе Каневой Е.В., расширяют знания о минералогии и кристаллохимии группы силикатных соединений щелочных, щелочноземельных и переходных элементов и полезны для их идентификации, а также определения новых возможностей использования синтетических аналогов данных минералов в различных областях промышленности. Результаты уточнения кристаллических структур включены в базы данных кристаллических структур неорганических соединений (ICDD, ICSD). Отдельные результаты были использованы для создания базы данных инфракрасных спектров отражения минералов; автором получено свидетельство о государственной регистрации базы данных. Использование выявленных кристаллохимических свойств редких минералов со сложным внутренним строением позволяет на основе структурных и спектроскопических характеристик идентифицировать внешне схожие изоструктурные минералы или минеральные виды из разных месторождений. Выводы и обобщения работы важны для дальнейшего развития структурной минералогии и кристаллохимии. Проведенный сравнительный анализ кристаллохимических особенностей, механизмов структурных трансформаций в соединениях с похожими структурно-химическими свойствами важен для изучения связи между структурой минеральных образований и условиями их формирования, а также для оценки их устойчивости и прогнозирования новых типов структур. Обнаруженные структурные особенности ряда соединений указывают на их потенциальные полезные свойства. Ионообменные характеристики ожидаются у некоторых изученных цирконо- и титаносиликатов с гетерополиэдрическим каркасом и микропористых каркасных алюмосиликатов, а также сложных минералов со слои-

стым, трубчатым и гибридным анион-радикалом в структуре. Разработка и развитие мультиметодологического подхода, сочетающего различные аналитические методы, позволяет всесторонне исследовать строение, состав, колебательные свойства и кристаллохимические характеристики группы редких и сложных минералов щелочных пород, что имеет фундаментальное значение для понимания их структурных особенностей и практического применения в области геохимии и создания новых функциональных материалов.

К наиболее значимым результатам автора следует отнести следующие.

1. Уточнены кристаллические структуры ряда минеральных соединений из класса цирконо- и титаносиликатов, алюмосиликатов, боросиликатов, слоистых, кольцевых, трубчатых и силикатов с гибридным анион-радикалом и несколькими типами анион-радикалов в структуре. Зарегистрирован новый минеральный вид – фторкарлтонит. Топология структур сложных К-Na-Ca-силикатов с кольцевым, слоистым и трубчатым анион-радикалом вызывает появление ионообменных свойств вследствие того, что полости в структурных каналах достаточны для перемещения и обмена внутри них молекул (атомов-гостей).
2. Получены данные об особенностях ряда минералов, типоморфных для щелочной формации, как основы для работ в области генетической минералогии и материаловедения. Особенности, связанные с анионными компонентами микропористых каркасных алюмосиликатов из различных месторождений, могут быть использованы в качестве диагностических критериев.
3. Впервые получены данные монокристалльного рентгеноструктурного анализа и спектроскопии для туркестанита и агреллита из массива Дара-й-Пиоз, нарсарсукита и мизерита из Мурунского массива, гакманита из Инаглинского массива; определена структура фторкарлтонита из Мурунского массива; получены данные о заселенности позиций канкринита из Жидойского массива, карлтонита из массива Мон-Сент-Илер, одинцовита, франкаменита, мизерита, тинаксита и токкоита из Мурунского щелочного комплекса.
4. На основе уточнения структур армстронгита из массива Хан-Богдо, власовита из Бурпалинского массива и Fe-обогащенного согдианита из массива Дара-й-Пиоз скорректирована их симметрия и/или химические формулы; для эльпидита из Бурпалинского месторождения и массива Дара-й-Пиоз описан механизм ионообменного процесса в структуре.
5. Показано, что изоморфные замещения в микропористых цирконо- и титаносиликатах с гетерополиэдрическим каркасом затрагивают как позиции внекаркасных катионов, для которых в большинстве случаев наблюдается структурное разупорядочение, так и ок-

таэдрические позиции в каркасе, что играет существенную роль в концентрировании редких элементов.

6. Установлено, что изоструктурные минералы щелочных пород (фторкарлтонит и карлтонит, тинаксит и токкоит, одинцовит и наккаалаакит и др.) не являются просто структурными аналогами, а представляют собой индивидуальные минеральные виды, обладающие как сходством, так и специфическими особенностями.

7. Впервые изучено высокотемпературное поведение федорита и фторкарлтонита из Мурунского массива; продемонстрировано, что высокотемпературная кристаллохимия силикатов щелочных пород позволяет получить информацию о доступности структурных полостей и каналов для размещения и перемещения молекул и атомов-гостей; это составляет основу для разработки новых функциональных материалов.

По содержанию работы имеются следующие вопросы и замечания.

1. Насколько корректна оценка структуры силикатов из объёмного массива пород по нескольким (двум-трём) монокристаллическим образцам? Как производился анализ репрезентативности данных малых выборок? В частности, в работе указано, что сравнение фторкарлтонита и карлтонита показало расщепление позиции калия у карлтонита, однако данный вывод сделан по кристаллохимическому анализу двух монокристаллов, насколько эти данные отражают общие тенденции в рядах этих минералов?

2. В предложенных схемах изоморфного замещения в части уравнений в левой части отсутствует H_2O (хотя она подразумевается (стр. 51, 60 и др.), в т.ч. в тексте указано, что замещение происходит в результате выщелачивания, т.е. при взаимодействии с водным раствором, например, на стр.51), в части уравнений (стр. 61, 93 и др.) H_2O присутствует. С чем связана такая разница в записи?

3. На стр.54 приведены упрощённые формулы изученных эльпидитов из массива и Хан-Богдо $(Na_{1+y}Ca_x□_{1-x-y})_{\Sigma=2}Zr[Si_6O_{15}] \cdot (3-x)H_2O$, выведенные на основе кристаллохимических формул двух монокристаллов

$(Na_{1.21}Ca_{0.31}Y_{0.03}Fe_{0.03}K_{0.01}Cu_{0.01}Ti_{0.01}Mn_{0.01})(Zr_{0.94}REE_{0.02}Hf_{0.01})[Si_6O_{14.94}(OH)_{0.06}] \cdot 2.94 H_2O$ и

$(Na_{1.04}Ca_{0.40}Y_{0.01}Fe_{0.01}K_{0.01})(Zr_{0.95}REE_{0.01}Hf_{0.01})[Si_6O_{14.79}(OH)_{0.21}] \cdot 2.79H_2O$. Однако содержание Ca и H_2O отклоняются от них (0.31 и 2.94, 0.41 и 2.79, соответственно) и, на первый

взгляд, не отвечают соотношению (x) и (3-x). Требуется комментарии по уместности подобного рода обобщений в формулах или объяснение повышенного содержания воды в указанных образцах.

4. На рис.57 стр. 175 мёссбауэровский спектр тинаксита характеризуется достаточно низким отношением сигнал/шум. Насколько корректным можно рассматривать разложение спектра и его интерпретацию?

5. Получение данных о колебательной системе представленных минералов заявлено одной из главных целей диссертации; тем не менее в работе явно не хватает сведений об основных колебательных представлениях, в частности, в тексте идет обсуждение вырожденности (симметрии) колебательных мод и пр.
6. Вопрос о колебательных спектрах Na-эльпидита, $\text{Na}_{1.5}\text{Ca}_{0.25}\text{ZrSi}_6\text{O}_{15}\cdot 2.75\text{H}_2\text{O}$. Автором на основе данных ИК-спектроскопии указано на наличие в спектральном диапазоне $400 - 850 \text{ см}^{-1}$ либрационных мод H_2O ; сообщается о присутствии мод H_2O в области $950 - 970 \text{ см}^{-1}$. Каким образом были отождествлены эти колебательные моды? Были ли применены модельные расчеты для интерпретации спектральных данных?
7. Вопросы к описанию температурного поведения фторкарлтонита по данным ИК-спектроскопии: на стр. 219 «...менее интенсивная полоса при 1196 см^{-1} связаны с валентными колебаниями Si–O. Расщепление последней из них связывают с тепловым расширением тетраэдрического каркаса при отжиге» - такое пояснение изменений спектров не кажется обоснованным; нельзя исключить, что это является признаком некоторой структурной перестройки. Что имеется в виду под фразой «колебания Si–O, возмущенные молекулами H_2O ...», какой смысл придается понятию возмущение?
8. На стр.182 титан описывается как «ион с переменной валентностью и координацией», однако создается впечатление, что в дальнейшем обсуждении учитывается только Ti^{+4} , без учета Ti^{+3} . Требуется комментарий.
9. Параметр $I_{G,total}$ впервые упомянут на стр.100 текста в разделе 3.1. Какую практическую или теоретическую ценность несет данный параметр и по какой причине его не вычисляли для структур, упомянутых в более ранних разделах?
10. На стр.199 указано, что «охлаждение образца от 750 °C до комнатной температуры происходит относительно постепенно, что приводит к уменьшению параметров элементарной ячейки и общему уменьшению объема (рис.72, синие кривые), без каких-либо существенных изменений наблюдаемых тенденций». Однако на рис.72а видно, что на месте экстремума в области $450 - 500 \text{ °C}$ появилось плато; на рис.72b плато при $300 - 500 \text{ °C}$ напротив исчезло; на рис.72с исчез минимум при $600 - 650 \text{ °C}$, т.е. тенденция изменилась. Требуется комментарий.
11. На стр.202-203 при описании рис.76 отмечено наличие фазового перехода при $400 - 450 \text{ °C}$, подтверждающееся изменением угла наклона зависимостей нормализованных параметров элементарной ячейки от температуры. Однако подобное изменение угла наклона прямых есть и при $200-250 \text{ °C}$, пусть и не такое заметное. С какими процессами или эффектами связаны данные изменения на зависимостях? Не исключено, что это может быть связано с погрешностями в измерениях. Аналогично по рис.82-84 создается впечатление о

наличие каких-то структурных или фазовых изменений у ридмерджерита в районе 300-400 °С.

12. В работе имеются незначительные недочёты в оформлении текста, в частности, в разделе 1.7 не указаны приборы, на которых получали ИК-спектры, смещение нумерации (дублирование нумерации рис.6), смещение значений нижних индексов в формулах в основной регистр, ряд незначительных опечаток, двойное обозначение вакансий как символом «□», так и символом «V». На стр.39 при описании методики ИК-спектроскопии автор по всей видимости имела в виду «в диапазоне волновых чисел», а не «длин волн», как указано. Некоторые подписи к рисункам даны не на русском, а на английском языке, что совершенно неприемлемо по ГОСТу оформления диссертаций.

Сделанные замечания не умаляют ценности работы.

Общие выводы и заключение по диссертации. Диссертационная работа Каневой Е.В. является завершённым самостоятельным научным исследованием, включающим в себя полный комплекс исследований от поиска и извлечения минеральных объектов до их разнопрофильной структурной аттестации. На основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как значимое научное достижение. Материал диссертации хорошо структурирован и обладает внутренним единством, работа отличается логичностью и согласованностью полученных научных результатов. Защищаемые положения, представленные в диссертации, подтверждаются надёжными воспроизводимыми эмпирическими данными. Научная новизна и личный вклад автора несомненны, а наивысшее качество комплексных кристаллохимических исследований обеспечивает соответствие исследований международному уровню. Результаты исследования имеют не только фундаментальную, но и практическую значимость и могут быть полезны в области поиска и разработки новых материалов для таких перспективных направлений, как оптоэлектроника, нелинейная оптика, разработка аккумуляторов, сенсоров и т.д. Автор диссертации корректно ссылается на источники заимствований и корректно отмечает использование результатов научных работ, выполненных лично и в соавторстве.

По материалам диссертации опубликовано 92 печатных работы, в том числе 33 статьи в реферируемых научных журналах из списка Web of Science и Scopus, а также 59 сборниках трудов международных и российских совещаний. Основные положения полностью представлены в опубликованных работах. Диссертация соответствует критериям, установленным в пп.9-11, 13 и 14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842 «Положение о присуждении ученых степеней».

Автор работы Канева Екатерина Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв подготовлен главным научным сотрудником лаборатории физических и химических методов исследования Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук, академиком РАН Сергеем Леонидовичем Вотяковым, ведущим научным сотрудником лаборатории физики минералов и функциональных материалов того же Института, кандидатом физико-математических наук Юлией Владимировной Щаповой, старшим научным сотрудником лаборатории физики минералов и функциональных материалов того же Института, кандидатом химических наук Зоей Алексеевной Михайловской.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук 25.02.2025 г., протокол № 2.

Вотяков Сергей Леонидович

академик Российской академии наук,

главный научный сотрудник,

лаборатория физических и химических методов исследования минерального вещества,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохимии имени академика А.Н.Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук,

620110, г.Екатеринбург, ул. академика Вонсовского, д.15

Телефон: (343) 287-90-13

E-mail: votyakov@igg.uran.ru

Щапова Юлия Владимировна

кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния, доцент,

ведущий научный сотрудник,

лаборатория физики минералов и функциональных материалов,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохимии имени академика А.Н.Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук,

620110, г.Екатеринбург, ул. академика Вонсовского, д.15

Телефон: (343) 287-90-27

E-mail: shchapova@igg.uran.ru

Михайловская Зоя Алексеевна

кандидат химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

старший научный сотрудник,

лаборатория физики минералов и функциональных материалов,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохи-

мии имени академика А.Н.Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук,

620110, г. Екатеринбург, ул. академика Вонсовского, д.15

Телефон: (343) 287-90-27

E-mail: zozoikina@mail.ru

