

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО  
СОВЕТА Д999.081.03 ПРИ ФЕДЕРАЛЬНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
БЮДЖЕТНОМ УЧРЕЖДЕНИИ НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И  
ГЕОХИМИИ ИМ. АКАДЕМИКА А.Н. ЗАВАРИЦКОГО УРАЛЬСКОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ФЕДЕРАЛЬНОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ УЧРЕЖДЕНИИ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ УФИМСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ФЕДЕРАЛЬНОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ УЧРЕЖДЕНИИ НАУКИ  
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 5 октября 2017 г. № 6

**О присуждении Замятину Дмитрию Александровичу, гражданину  
Российской Федерации, ученой степени кандидата геолого-  
минералогических наук.**

Диссертация «Кристаллохимия и спектроскопия циркона в решении  
вопросов его микронзондового химического U-Th-Pb-датирования» по  
специальности 25.00.05 «Минералогия, кристаллография»

принята к защите 29 июня 2017 года, протокол № 5 диссертационным  
советом Д999.081.03 на базе Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Институт геологии и геохимии им. академика А.Н.  
Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (620016, г.  
Екатеринбург, проспект Академика Вонсовского, 15), приказ №758/нк от  
22.06.2016 г.

Соискатель Замятин Дмитрий Александрович 1985 года рождения, в 2008 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский государственный университет им. А.М. Горького (УрГУ), в 2013 году окончил аспирантуру заочной формы обучения в аспирантуре при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН), работает научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории физических и химических методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук.

*Научный руководитель* – доктор геолого-минералогических наук, академик РАН Вотьяков Сергей Леонидович, главный научный сотрудник лаборатории физических и химических методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук.

***Официальные оппоненты:***

доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН **Корсаков Андрей Викторович**, работающий в должности заведующего лабораторией теоретических и экспериментальных исследований высокобарического минералообразования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск);

доктор физико-математических наук, **Коровкин Михаил Владимирович**, работающий в должности профессора кафедры «Геологии и разработки нефтяных месторождений» Института природных ресурсов Федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск), **дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация:** Институт геологии и нефтегазовых технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (г. Казань), **в своем положительном заключении**, подписанном Морозовым Владимиром Петровичем, доктором геолого-минералогических наук, заведующим кафедры минералогии и литологии, Низамутдиновым Назымом Минсафовичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры минералогии и литологии, Николаевым Анатолием Германовичем, кандидатом геолого-минералогических наук, доцентом кафедры минералогии и литологии, **указала**, что диссертационная работа Д.А. Замятина посвящена актуальной теме и представляет собой законченное исследование, отвечающее требованиям ВАК. Работа соответствует заявленной специальности. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Автор известен большому кругу минералогов и кристаллографов. Замятин Д.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 «Минералогия, кристаллография».

Соискатель имеет 57 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 43 работы, среди которых 5 в рецензируемых научных изданиях перечня ВАК:

1. Замятин Д.А., Щапова Ю.В., Вотяков С.Л., Еремин Н.Н., Урусов В.С. Структура и термодинамические свойства твердых растворов циркон–коффинит по данным полуэмпирического атомистического моделирования // Физика и химия стекла, 2013. Т. 39. С. 118-133. Расчеты, моделирование твердых растворов циркон-коффинит, основные выводы в публикации получены соискателем и составили основу работы.

2. Вотяков С.Л., Замятин Д.А., Шапова Ю.В., Поротников А.В., Краснобаев А.А. Особенности метамиктного состояния цирконов на основе анализа их микроскопических изображений и данных электронно-зондового микроанализа // Доклады Академии наук, 2014. Т. 457. № 3. С. 332-336. Методические разработки по оценке содержания воды методом электронно-зондового микроанализа, экспериментальное исследование метамиктных зерен циркона и основные выводы были сделаны соискателем и составили основу работы.

3. Шалаева Е.В., Мурзакаев А.М., Макаров В.В., Пушин В.Г., Замятин Д.А., Шапова Ю.В., Вотяков С.Л. Локализация урана в радиационно-поврежденном нано-гетерогенном природном цирконе // Физика и Химия Стекла, 2015. Т. 41. № 3. С. 518-529. Соискателем проведены исследования циркона методом электронно-зондового микроанализа и электронной микроскопии.

4. Вотяков С. Л., Прибавкин С. В., Замятин Д. А. Химическое датирование циркона из гранитных пегматитов Шарташского Массива (Средний Урал) // Доклады Академии наук, 2016. Т. 470. №1. С. 83–86. Представленные экспериментальные исследования методом электронно-зондового микроанализа и рамановской спектроскопии, расчет радиационных доз, химическое датирование, оценка степени поврежденности структуры циркона пегматитов выполнены соискателем и составили основу публикации.

5. Zamyatin D.A., Shchapova Yu.V., Votyakov S.L., Nasdala L., Lenz C. Alteration and chemical U-Th-total Pb dating of heterogeneous high-uranium zircon from a pegmatite from the Aduiskii Massif, Middle Urals, Russia // Mineralogy and Petrology, 2017. V.111. Iss. 4. P. 475-497. Комплекс экспериментальных данных, анализ, обработка, интерпретация и представление данных, основные выводы выполнены соискателем работы.

***На диссертацию и автореферат поступили 24 отзыва (20 положительных и 4 отрицательных).***

**Блинов И.А.**, к.г.-м.н., н.с., ФГБУН Институт минералогии УрО РАН, Миасс. Отзыв положительный. Замечания: рекомендуемая автором комплексность методов для подготовки химического датирования снижает экспрессность и увеличивает стоимость исследований; не отражена проблема пробоподготовки; не предложены коэффициенты для количественной оценки метамиктного состояния циркона; не приведена корреляция между положением линии  $Si K\beta$  и полученной радиационной дозой; применение термина «стерильный» в приложении к химическому составу некорректно; сомнительна корректность расчета погрешности определения возраста циркона Шарташского массива.

**Вайнштейн И.А.**, д.ф.-м.н., зав. каф. УрФУ, **Вохминцев А.С.**, к.ф.-м.н., с.н.с., УрФУ, Екатеринбург. Отзыв положительный. Замечаний нет. Вопрос: Остается неясным, в какой спектральной области выполнены измерения методом катодолюминесценции с микромасштабным пространственным разрешением.

**Еремин Н.Н.**, д.х.н., зав. каф. МГУ, Москва. Отзыв положительный. Отмечено получение автором новых теоретических данных о свойствах смещения и локальной структуре твердого раствора циркон-коффинит. Замечания и вопросы по описанию результатов атомистического моделирования: (1) не приведена оригинальная авторская модель межатомных потенциалов, и не ясно, в чем ее отличия от альтернативных моделей; (2) термины «пороговая энергия смещения атомов» и «средние структурные параметры ближнего порядка» требуют уточнения; (3) не ясно, почему в тексте автореферата констатирована неаддитивная зависимость параметров элементарной ячейки и длин связей катион-кислород от состава, в то время как на рисунке 6 приведена линейная зависимость последних. Замечания по оформлению: (1) служебный программный пакет BINAR неудачно назван программным продуктом для моделирования твердых растворов; (2) рисунок 5 автореферата не информативен и оставляет вопросы по структуре двойных вакансий.

**Ерохин Ю.В.**, к.г.-м.н., в.н.с., ИГГ УрО РАН, Екатеринбург. Отзыв отрицательный. Замечания: (1) приведенная в списке основных публикаций автора статья в журнале "Mineralogy and Petrology" еще не опубликована; (2) все три защищаемых положения, по стилю написания, находятся за гранью понимания; не ясно, в чем состоит научная проблематика первого защищаемого положения; что именно сделано диссертантом по второму положению; утверждение третьего защищаемого положения о необходимости выполнения предварительных исследований метамиктного циркона перед его химическим датированием является абсурдом, поскольку метамиктный циркон - всегда открытая система, и датировать такие минералы нельзя; (3) неудовлетворительно представлено цитирование российских публикаций по химическому датированию минералов, особенно публикаций В.В. Хиллер; (4) в диссертации присутствуют большие фрагменты заимствования текста из книги Вотяков С.П., Щапова Ю.В., Хиллер В.В. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. 340 с.; (5) представление метамиктного циркона как смеси аморфного кремнезема с включениями нанодисперсного кубического  $ZrO_2$  и молекулярной группировки  $UO_2^{2+}$  является ошибочным; (7) выполненное автором химическое датирование циркона из пегматитов Шарташского массива некорректно, поскольку средневзвешенный возраст в  $303 \pm 3$  млн лет не совпадает с изохронным  $311 \pm 7$  млн лет, положение изохроны говорит о нарушении системы, и нет совпадения возраста с возрастом парагенетических циркону коффинита и уранинита; (8) диссертационная работа не соответствует специальности 25.00.05, и диссертанту следует защищать ее по специальности 01.04.18 «Кристаллография, физика кристаллов».

**Зеленовский П.С.**, к.ф.-м.н., с.н.с., ИЕН УрФУ, Екатеринбург. Отзыв положительный. Без замечаний. Отмечено, что решаемые в диссертационной работе задачи актуальны и имеют существенное значение для физики минералов.

**Иванов О.К.**, д.г.-м.н., с.н.с., ИГГ УрО РАН, Екатеринбург. Отзыв отрицательный. Замечание: работа не соответствует специальности 25.00.05 «Минералогия, кристаллография»

**Каулина Т.В.**, д.г.-м.н., в.н.с., ГИ КНЦ РАН, Апатиты. Отзыв положительный. По мнению рецензента, основное достоинство работы – создание методики количественной оценки структурного состояния и химического состава циркона с выделением в нем разновозрастных генераций и вторичных зон, что позволяет не зависеть от субъективности исследователя и облегчает интерпретацию полученных геохронологических данных. Без замечаний.

**Кривовичев С.В.**, член-корреспондент РАН, д.г.-м.н., профессор, председатель Кольского научного центра РАН, Апатиты. Отзыв положительный. Отмечается существенный вклад в решение проблемы локальной структуры зерен циркона в свете задач изотопной геохронологии; интерес представляет вывод об образовании уранил-катиона в результате метамиктизации и окисления уран-содержащего циркона. Замечаний нет. Вопросы: (1) по атомистическому моделированию – каким образом происходит полимеризация кремнекислородной сетки в результате формирования точечных кислородных вакансий; (2) по рамановской спектроскопии – сравнивались ли спектры циркона, содержащего уранильные группировки, со спектрами с уранил-силикатов.

**Крылов А.С.**, к.ф.-м.н., с.н.с., доцент. ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск. Отзыв положительный. Замечание касается терминологии: в русскоязычных текстах более традиционным является использование термина «комбинационное рассеяние света» вместо «рамановская спектроскопия».

**Кузнецов Д.К.**, к.ф.-м.н., с.н.с., ИЕН УрФУ, Екатеринбург. Отзыв положительный. Отмечена актуальность как с практической, так и фундаментальной точек зрения. Без замечаний.

**Лютеев В.П.**, к.г.-м.н., в.н.с., ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар. Отзыв положительный. В качестве важных аспектов работы указано использование

комплекса передовых наукоемких методов исследования и создание алгоритма совместного анализа изображений, получаемых разными методами. Отмечено, что диссертация полностью соответствует области исследований «Физика минералов и современные методы исследований морфологии, внутреннего строения, структурного несовершенства, фазово-химической неоднородности и связанных с ними свойств реальных минералов, изучение их вариаций в зависимости от условий образования и изменения в природных и технологических процессах» в рамках формулы специальности 25.00.05 «Минералогия, кристаллография». Без замечаний.

**Плоткина Ю.В.**, к.г.-м.н., с.н.с., ИГГД РАН, Петербург. Отзыв положительный. Подчеркивается значение исследований для понимания процессов, происходящих в кристаллах акцессорных минералов при внешних воздействиях, для более корректной интерпретации данных локальной изотопной и неизотопной геохронологии. Рекомендуются использование в курсах «Изотопная геология», «Геохимия минералов». Без замечаний.

**Прибавкин С.В.**, к.г.-м.н., с.н.с., **Пушкарев Е.В.**, к.г.-м.н., в.н.с., ИГГ УрО РАН, Екатеринбург. Отзыв положительный. Отмечается, что работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современных методов анализа минералов; сильной стороной работы является комплексирование различных методов. Полученное на основании теоретических расчетов несоответствие термодинамических параметров природных и искусственных систем является поводом для дальнейших исследований, в частности, в области разработки геотермометров, «фугометров» на основе содержания U или Th в цирконе. Рецензенты отмечают наличие в диссертационной работе некоторых технических и стилистических неточностей, дискуссионных моментов, которые не умаляют высокий уровень проведенного исследования и достоверность полученных результатов.

**Ронкин Ю.Л.**, с.н.с., ИГГ УрО РАН, Екатеринбург. Отзыв отрицательный. Замечания и вопросы: (1) по цели работы – неясно, зачем

нужно развивать метод химического датирования при наличии оборудования для изотопной масс-спектрометрии; (2) по основным задачам – их формулировка, в частности, фраза «комплексное исследование циркона и ряда других U-Th-содержащих минералов из геологических объектов Урала», не соответствует названию диссертации; (3) по практической значимости – рецензент указывает на ее отсутствие на основании данных e-library о том, что цитирование работ автора по теме диссертации – это, в основном, самоцитирование, (4) по защищаемым положениям – первое представляется рецензенту банальным в связи с наличием в литературе большого количества работ по минералогическим особенностям циркона; второе производит впечатление «таинственного заклинания», особенно в связи с отсутствием анализа данного положения в отзывах оппонентов; в связи с третьим положением рецензент отмечает, что содержание используемого автором термина «замкнутость U-Th-Pb циркона по кристаллохимическим и спектроскопическим данным» непонятно; (5) по оформлению диссертации – отсутствуют таблицы и протоколы измерений, погрешности измерений химического состава в таблицах 4.2.1, 4.3.1, 4.3.2, 4.4.1, 4.4.2, 4.5.1; (6) по выбору Диссертационного Совета – диссертация не соответствует уровню компетенции Диссертационного Совета Д 999.081.03. Вопросы по процедуре химического датирования: не ясно, почему предполагалось пренебрежимо малое содержание нерадиогенного свинца; как выполнялась оценка его содержания; в каких программах выполнялись расчеты; по какому алгоритму рассчитывали СКВО для изохрон; что означает «линия регрессии с двумя симметричными гиперболами», каков уровень значимости погрешности.

**Скублов С.Г.**, д.г.-м.н., г.н.с., ИГГД РАН, Петербург. Отзыв положительный. Указано, что исследование вносит вклад в научное направление на стыке минералогии, изотопной геохимии и геохронологии – «цирконологию». Без замечаний.

**Титова С.Г.**, д.ф.-м.н., зав. лаб., Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург. Отзыв положительный. Без замечаний.

**Филатов С.К.**, д.г.-м.н., профессор, СПбГУ, **Бубнова Р.С.**, д.х.н., зав. лаб., ИХС РАН, Петербург. Отзыв положительный. Отмечено, что второе положение фундаментально, особенно интересна полимеризация тетраэдров  $\text{SiO}_4$  на начальных стадиях радиационного повреждения. Вопрос: требуется уточнить, что подразумевается под «методиками исследования кристаллохимических особенностей циркона с микронным разрешением». Замечание: в автореферате не приведены значения разброса Si-O для концевых и мостиковых длин связей, что представляет интерес.

**Финкельштейн А.Л.**, д.т.н., зав. лаб., Институт геохимии СО РАН, Иркутск. Отзыв положительный. Отмечается актуальность привлечения широкого круга физических методов исследования для получения новой информации о зернах циркона в дополнение к традиционно используемым катодолюминесценции и/или сканирующей электронной микроскопии. Без замечаний.

**Хиллер В.В.**, к.г.-м.н., с.н.с., ИГГ УрО РАН, Екатеринбург. Отзыв отрицательный. Замечания: (1) по третьему защищаемому положению: в нем нет научной проблематики, так как химическое датирование возможно и без предлагаемого автором анализа метамиктного состояния и замкнутости U-Th-Pb системы циркона по кристаллохимическим и спектроскопическим данным; (2) по содержанию работы: в работе, посвященной циркону, не изучен Th-содержащий циркон и система циркон-торит; результаты химического датирования уранинита, коффинита и монацита в данной работе неуместны; (3) по тексту работы: ошибочно упоминание ксенотима при перечислении минералов, на которых сосредоточена основная масса публикаций по химическому датированию, и утверждение о том, что химические датировки циркона немногочисленны; (4) по описанию методики измерения: некорректно обозначена шкала положения рефлекса на рисунках 2.1.3 и 2.1.4; неверно указан тип характеристических линий и не указан порядок линий отражения в таблице 2.1.1; не лучшим образом используется термин «коррекция» при учете наложения пиков; приведение формулы для

предела обнаружения в тексте нецелесообразно; (5) по процедуре измерений: главный минус работы – неправильные значения интенсивности спектральных наложений; интенсивность линии фтора необходимо измерять до, а не после линии кислорода; для получения корректной «возрастной» карты необходимо одновременно получать карты распределения интенсивности линии иттрия; не следовало проводить измерения тербия, диспрозия и гольмия, содержание которых ниже предела обнаружения; (6) по используемой терминологии: не следует использовать словосочетания «карты элементов», «измерение содержания элемента», «металлический кремний»; в словосочетании «легкий элемент» необходимо первое слово брать в кавычки; (7) по цитированию: неудовлетворительно представлено цитирование работ ведущих российских специалистов в области микроанализа, отсутствуют ссылки на широко известные работы (приведен список из трех диссертаций и трех статей); (8) по анализу погрешности определения возраста: неясно, как выполнена статистическая обработка полученных данных (стр. 117 и рис. 4.33), которая значительно уменьшает значение погрешности до значений, сопоставимых с изотопными методами.

**Хубанов В.Б.**, к.г.-м.н., ст. препод., ГИН СО РАН, Улан-Удэ. Отзыв положительный. Отмечается, что представленные методические разработки позволяют определять структурно-вещественное состояние циркона, в том числе характеризовать количественно его метамиктное состояние и степень гидратированности. Без замечаний.

**Шагалов Е.С.**, к.г.-м.н., доц., УГГУ, Екатеринбург. Отзыв положительный. Отмечается, что методология полезна для предварительного экспрессного анализа каменного материала для изотопных исследований; некоторые материалы работы используются в образовательном процессе кафедры «Минералогия, петрография и геохимия» УГГУ. Замечания: в тексте диссертации присутствуют орфографические ошибки, неточности, жаргонизмы.

**Шалаева Е.В.**, д.х.н., в.н.с., ИХТТ УрО РАН, Екатеринбург. Отзыв положительный. Отмечается практическая значимость работы, связанная с методическими разработками по совместному корреляционному анализу результатов микроскопических, спектроскопических методов, дозы и степени повреждения. Замечания по тексту автореферата: (1) не представлены результаты прямых структурных методов – электронной дифракции, просвечивающей электронной микроскопии; (2) не представлено сопоставление результатов прогнозирования взаимной фазовой растворимости циркона и коффинита с результатами других расчетных методов; (3) иностранные аббревиатуры не расшифрованы и не пояснены на русском языке.

**Штенберг М.В.**, к.г.-м.н., н.с., ФГБУН Институт минералогии УрО РАН, Миасс. Отзыв положительный. Отмечается актуальность применения в работе методик с высоким пространственным разрешением. Редакционные замечания по автореферату: (1) в русскоязычных источниках приняты термины «спектроскопия комбинационного рассеяния» вместо «рамановская спектроскопия»; (2) упоминание рисунков в тексте не соответствует их порядковым номерам. Вопросы: (1) проводилось ли определение содержания молекулярной воды в цирконах методами колебательной спектроскопии; (2) как определялась ширина и положение линий комбинационного рассеяния в плохо разрешенных спектрах.

**Юдинцев С.В.**, член-корреспондент, д.г.-м.н., зав. лаб., ФГБУН ИГЕМ РАН, Москва. Отзыв положительный. Отмечается важность и востребованность исследований, направленных на комплексную оценку степени изменения циркона вторичными процессами, применимость подобного подхода и для других минералов. Без замечаний.

В двадцати отзывах отмечается, что содержание и оформление работы отвечает требованиям ВАК, Замятин Д.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. В двух отзывах (Ерохин Ю.В., Хиллер В.В.) отмечается, что Замятин Д.А. не заслуживает

присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук; в одном отзыве (Иванов О.К.) указано, что диссертация не отвечает специальности 25.00.05 «Минералогия, кристаллография»; в одном отзыве (Ронкин Ю.Л.) указано, что диссертация не соответствует уровню компетенции Диссертационного Совета Д 999.081.03.

**Выбор официальных оппонентов** обосновывается тем, что Корсаков А.В. и Коровкин М.В. являются крупными специалистами в области минералогии и кристаллографии, а также спектроскопии минералов и ее применения в петрологических построениях, что подтверждается соответствующими публикациями по данным направлениям исследований.

**Выбор ведущей организации** обосновывается наличием высококвалифицированных специалистов в минералогии, в физике и спектроскопии минералов, способных объективно оценить данную диссертацию.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований показано следующее.

**Разработан** алгоритм комплексного исследования на основе усовершенствованной методики, позволяющий количественно охарактеризовать метамиктное состояние циркона и диагностировать вторичные изменения минерала с микронным пространственным разрешением. *Предложены и использованы* атомистические расчетные методы для моделирования особенностей дефектов, возникающих в результате автооблучения циркона, а также структуры и свойств твердых растворов циркон-коффинит с использованием оригинального набора межатомных потенциалов, что позволило построить реалистичную теоретическую модель природного циркона и получить новые данные о его атомарном строении и термодинамических свойствах. *Доказано*, что анализ метамиктного состояния циркона и замкнутости его U-Th-Pb-системы по кристаллохимическим и спектроскопическим данным является необходимым этапом микронного химического датирования циркона. Установлены

новые признаки вторичного преобразования высокоуранового циркона под действием флюида и его непригодности для химического датирования – повышенная концентрация воды (до единиц мас.%) и образование молекулярной группировки уранил-иона.

*Доказана* возможность применения разработанной автором методики для решения петрологических и геохронологических вопросов. С участием автора диссертации на основе его разработок решен ряд геологических и петрологических вопросов, таких как время магмогенерации в подошве крупного Адуйского гранитного массива, время пегматитообразования в Шарташском гранитном массиве и др. *Введено* новое понятие «JPD-анализ».

**Теоретическая значимость исследования** обоснована следующим. *Применительно к проблематике диссертации* усовершенствованы, апробированы и *результативно использованы* методики с микронным пространственным разрешением и алгоритм комплексного исследования, позволяющие получить количественные данные о метамиктном состоянии кристалла, текстуре, химическом составе, гидратации, разупорядочении структуры, ориентации кристаллитов, напряжениях, значениях доз авторадационного облучения, на основании которых могут быть диагностированы вторичные изменения минерала. Методики *доказаны* на стандартах, мировых образцах сравнения и образцах Урала. Алгоритм использован для неизотопного химического датирования гетерогенных цирконов, в результате чего *раскрыты* новые закономерности, в том числе вторичных преобразований высокоурановых цирконов. *Изучена* структура ближнего порядка радиационных дефектов моно- и дивакансий анионов кислорода и катионов циркония, возникающих при автооблучении, что позволило расширить представления о процессе метамиктизации циркона на начальных стадиях и предложить объяснение механизма уширения линий рамановского рассеяния. *Проведена модернизация* потенциальной модели, выполнено полуэмпирическое атомистическое моделирование структуры и термодинамических свойств твердых растворов  $(Zr_{1-x},U_x)SiO_4$ , в результате

чего определены границы смесимости, детально исследована локальная структура твердого раствора, *раскрыты* причины неоднородного поведения колебательных мод рамановских спектров в зависимости от содержания урана.

Выполнено комплексное исследование минералов-концентраторов радиоактивных элементов ряда геологических объектов Урала; *изучено* влияние вторичных процессов (диффузионно-реакционного и растворения-осаждения) на химический состав, структурное состояние, спектроскопические характеристики и U-Th-Pb-систему высокоуранового циркона; выполнено химическое датирование «молодых» зерен циркона (нижний триас), согласующееся с данными изотопных методов.

***Значение полученных соискателем результатов исследования для практики*** подтверждается следующим. *Разработаны* методики для исследования зерен циркона локальными методами и *внедрены* в полном объеме в практику аналитической работы Института геологии и геохимии УрО РАН и ЦКП УрО РАН «Геоаналитик», а также образовательный процесс геологических (физико-химических) специальностей в области «физики минералов», *представлены* методические рекомендации по применению методик, сформулированы предложения по их дальнейшему совершенствованию. *Созданный* алгоритм комплексного исследования локальными методами рекомендован для внедрения в работу аналитических лабораторий, оснащенных электронно-зондовыми микроанализаторами и спектроскопическим оборудованием, на этапе подготовки проб гетерогенных зерен циркона для высокочувствительных изотопных исследований. *Определены* перспективы практического использования методики химического неизотопного датирования проб высокоуранового циркона. Показана возможность практического использования разработанных автором методик для решения вопросов минерогенеза и петрологии.

***Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее.***

Основные экспериментальные данные получены в аккредитованной лаборатории физических и химических методов анализа минерального вещества ИГГ УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.516761) на сертифицированном оборудовании с использованием современных прецизионных методов и международных стандартов. Отдельные результаты получены в Институтах физики металлов и высокотемпературной электрохимии УрО РАН, а также в Университете Вены. Показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях. В работе *использованы* современные методики сбора и обработки информации.

*Теория* и интерпретация экспериментальных данных основаны на известных и доказанных фактах. Полученные результаты развивают и дополняют опубликованные ранее экспериментальные данным по теме диссертации и смежным отраслям. О достоверности полученных в ходе выполнения работы результатов также свидетельствует комплексность исследования и *установленное* количественное совпадение результатов, полученных различными методами, в частности, соответствие данных химического неизотопного датирования выполненным ранее изотопным датировкам.

*Идея диссертации базируется* на собственном опыте анализа микроскопических и спектроскопических данных, моделирования атомарного строения, а также анализе опубликованных литературных данных, современных представлениях о метамиктном состоянии циркона, механизмах его вторичных преобразований и применения для геохронологии.

*Личный вклад соискателя состоит* в том, что методические разработки и усовершенствования, регистрация экспериментальных данных на электронно-зондовом микроанализаторе, рамановском спектрометре, сканирующем электронном микроскопе выполнены лично автором; самостоятельно выполнено компьютерное моделирование структур, дефектов в цирконе и твердых растворов циркон-коффинит с использованием

программ GULP, BINAR; автор самостоятельно выполнил химическое датирование минералов; обработка и анализ экспериментальных данных выполнены автором лично; подготовка публикаций и апробация работ на научных мероприятиях выполнены в со-авторстве; апробация результатов состоит в подготовке и опубликовании соискателем научных статей и тезисов докладов, выступлениях с докладами на всероссийских и международных научных мероприятиях.

На заседании 5 октября 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Замятину Дмитрию Александровичу ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 25.00.05 «Минералогия, кристаллография», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 3, недействительных бюллетеней нет.

Заместитель председателя диссертационного совета



Пучков В.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета



Крупенин М.Т.

5 октября 2017 года

Подписи Пучкова В.Н., Крупенина М.Т. Заверено  
Зав. общим отделом

