

Утверждаю  
Проректор по научной деятельности  
ФГАОУ ВО Казанский федеральный  
университет



**Отзыв ведущей организации на диссертационную работу Замятина Дмитрия Александровича по теме «Кристаллохимия и спектроскопия циркона в решении вопросов его микронзондового химического U – Th – Pb - датирования», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография»**

Диссертационная работа Дмитрия Александровича Замятина посвящена исследованию метамиктного состояния циркона с применением комплекса локальных методик и включает химическое датирование зерен и выявление признаков вторичных преобразований на примере ряда геологических объектов Урала – анализа радиационного и химического разупорядочения структуры, влияние вторичных процессов на состав, структурное состояние, на систему урана – тория – свинца и результаты химического микронзондового датирования минералов.

Актуальность темы определяется тем, что в диссертационной работе рассматриваются важные аспекты изотопной геохронологии, которые в последнее время все более активно используются в практической геологии для датировки различных объектов. Работа Д.А.Замятина относится к области исследования реальных кристаллических веществ. Реальный кристалл представляется системой из двух частей: совершенная часть и система ее дефектов. Совершенная часть создает основу с трехмерно-периодичной структурой, кристаллическое пространство которой описывается одной из 230 пространственных групп, является стабильной частью реального кристалла. Система дефектов кристаллической основы отличается разнообразием, являясь менее стабильной, отражает условия образования минералов, последующих процессов в них и среды его образования. Реальный кристалл оказывается сложной системой анализа и экспериментального исследования. Одной из таких систем является природный циркон.

Как показано в диссертационной работе, циркон является как количественно, так и качественно переменным кристаллическим веществом. Он представляет собой минерал геохронометр, как концентратор изоморфных примесных элементов (РЗЭ, U, Th), но и обладает устойчивым свойством к физико-химическим и радиационным воздействиям и может оказаться важным при разработке вопросов геотермометрии. Доза авторадационного облучения определяет степень нарушения структуры полной метамиктизации циркона. Поэтому применение микрозондовых аналитических приборов для исследования метамиктного состояния циркона является обоснованно уместным.

Диссертационная работа состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, списка литературы.

Во введении в разделе «актуальность работы» отмечается, что распределение структурных нарушений, химических элементов и гидратации по объему кристалла являются важными характеристиками для определения условий образования, степени и характера его вторичных преобразований, сохранности геохронологической информации. Эти данные имеют большое практическое значение, как на этапе геохронологических построений, так и на этапе подготовки образцов для изотопных исследований локальными методами. В последние годы, наряду с изотопными датировками достаточно широко используются микрозондовые данные по содержанию U, Th и Pb для химического датирования минералов. Основная масса публикаций посвящена датированию минералов монацита, ксенотима и уранинита. Напротив, корректные химические датировки минерала циркона немногочисленны. Кроме того, авторадационная аморфизация структуры циркона определяет снижение его устойчивости к вторичным воздействиям и требует анализа сохранности (замкнутости) его U-Th-Pb-системы при определении возраста. Тем не менее, метод микрозондового датирования применим и перспективен для оценки возраста аксессуарных древних зерен циркона, а также высокоурановых зерен, встречающихся в пегматитах.

Основная задача работы – развитие и апробация локальных методик электронно-зондового микроанализа и микроспектроскопии для изучения зерен циркона, в том числе высокоурановых. Исследованию подвергались образцы уральских зерен циркона, предоставленных известными специалистами.

В первой главе анализированы литературные данные по кристаллохимии и спектроскопии – локальные экспериментальные данные и атомистическое моделирование. Эта глава характеризует диссертанта как умелого научного исследователя, способного выделить кристаллохимические особенности изучаемого вещества и использовать их для обоснованной организации хода экспериментального исследования и анализа результатов. Процессы образования дефектов в цирконе можно рассматривать дифференцированно: ростовые, авторадационные и с привлечением имеющихся гипотез, включая радиационной метамиктизации.

Вторая глава содержит разработанные, усовершенствованные и апробированные локальные методики анализа текстуры, состава и структурного состояния циркона.

Развита и усовершенствована методика определения концентрации U, Th, Pb и легких элементов O и F в цирконе, учитывающая эффект «миграции» элементов под действием

пучка электронов на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX100. Предложен подход для решения проблемы недостатка суммарного содержания оксидов при микронзондовом анализе метамиктных гидратированных зерен циркона на основе учета содержания воды. Отработаны методики регистрации рамановских, фотолюминесцентных спектров и картирования зерен циркона по параметрам аналитических линий на спектрометре Horiba LabRAM HR800 Evolution с лазерным возбуждением линиями 633 и 473 нм, а также методики определения степени радиационного разупорядочения циркона по уширению (сдвигу) линий. Предложена и разработана на основе JPD-алгоритма методика для совместного анализа BSE, CL, карт распределения элементов и других изображений зерен циркона для изучения его текстуры, количественного анализа карт зональности с количественной оценкой соотношения площадей метамиктных и кристаллических зон.

Предложен алгоритм комплексного исследования, который позволяет количественно характеризовать метамиктное состояние циркона и диагностировать вторичные изменения с микронным пространственным разрешением – получить данные, представляющие основу для выводов о формировании циркона и выполнения его химического U-Th-Pb-датирования.

Глава 3 содержит результаты атомистического моделирования нарушения кристаллической структуры циркона. Целью этой главы является построение моделей ближнего порядка радиационно- и химически разупорядоченного циркона; определение атомной структуры и энергии образования радиационных и примесных дефектов в цирконе; количественные оценки степени структурного беспорядка, создаваемого радиационным и химическим факторами, расчет термодинамических характеристик твердых растворов циркон-коффинит.

Глава 4 содержит результаты изучения локального состава, структурного состояния, свойств, текстуры циркона и других U-, Pb-содержащих минералов-геохронометров.

Системные исследования по физике и спектроскопии цирконов на Урале начались в шестидесятых-семидесятых годах прошлого столетия. В центре этих исследований стояли разнообразные проблемы как физики и кристаллохимии этого минерала, так и прикладные вопросы использования результатов при анализе геологической эволюции Уральского складчатого пояса. В связи с развитием аналитической техники в спектроскопии минералов, повышению локальности, чувствительности и точности аналитических методов сформировалось новое направление развития в физике минералов - микроспектроскопия микроанализ с возможностью картирования зерен по спектроскопическим данным элементов от Be до U и возрастам (на основе картирования по элементам U, Th, Pb). Это открывает новые возможности локального анализа структурного состояния и состава циркона как минерала-геохронометра и изучения в нем явления авторадикационной деструкции, вторичных преобразований, нарушения изотопных систем.

В диссертации локальными методами экспериментально исследовано и проанализировано более 200 зерен циркона и сопутствующих U-Th-минералов, что свидетельствует о достоверности сформулированных в работе выводов.

К работе имеются замечания:

1. В первой главе отсутствуют результаты исследований по электронному парамагнитному резонансу цирконов, т.к. метод ЭПР является одним из информативных для данного минерала при исследовании электронно-дырочных центров.

2. Кроме спектроскопии комбинационного рассеяния в работе можно было бы использовать колебательную инфракрасную спектроскопию для более полного исследования радиационного (метамиктного) изменения кристаллической структуры цирконов.

3. При проведении исследований методами спектроскопией комбинационного рассеяния и фотолуминесценции не указана температура съемки, могли ли быть изменения основных параметров линий в спектрах при разных температурах съемки?

4. В главе 3 были проведены моделирования кристаллической структуры цирконов, однако были ли проведены сравнения этих данных с параметрами природных образцов?

5. В главе 4 рассмотрены результаты исследований цирконов из различных геологических формаций, почему нет результатов исследования цирконов из щелочных комплексов?

6. В диссертации описаны методика U-Th-Pb датировки цирконов, но отсутствует информация по практическому применению данной методики при различных геологических изысканиях.

В заключении следует сказать, что, несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Дмитрия Александровича Замятина представляет законченное научное исследование, отвечающее требованиям ВАК. Работа соответствует заявленной специальности. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Автор известен большому кругу минералогов и кристаллографов. Замятин Дмитрий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография».

Д.ф.-м.н., профессор каф. минералогии  
и литологии

Тел. 2337988, Nazim.Nizamutdinov@kpfu.ru

К.г.-м.н., доцент каф. минералогии  
и литологии

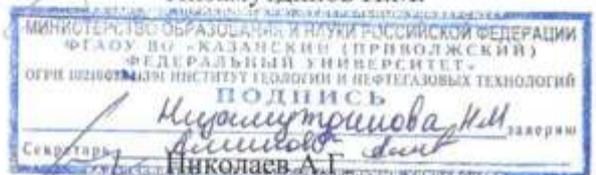
Тел. 2337988, anatolij-nikolaev@yandex.ru

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры минералогии и литологии  
Института геологии и нефтегазовых технологий КФ 10 сентября 2017 г.

Зав. каф минералогии и литологии,  
д.г.-м.н., проф.

4200008, Казань, ул. Кремлевская, 18  
2337988, Vladimir.Morozov@kpfu.ru

Низамутдинов Н.М.



Морозов В.П.

