

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУИ ДВГУИ (ДВГИ) ДВО РАН
геологический институт



д.т.н. И.А. Тарасенко

« 06 » мая 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук на диссертационную работу **Сергеевой Людмилы Юрьевны «Состав и изотопно-геохимическая характеристика циркона из гранулитов далдынской серии Анабарского щита»**, представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертация Сергеевой Людмилы Юрьевны является полноценной и законченной научной работой высокого уровня и ее актуальность определяет фундаментальность проблемы понимания механизмов формирования, реконструкции процессов происхождения и эволюции ранней сиалической коры. К настоящему времени по этой проблеме накоплен значительный геологический, геохимический и изотопно-геохронологический материал, однако многие вопросы ранней истории Земли остаются дискуссионными.

Гранулиты Анабарского щита интенсивно изучались многими исследователями во второй половине прошлого столетия, поэтому нужно считать удачным выбор диссертантом объекта, предварительно изученного в геологическом отношении. В то же время, ряд вопросов высокочувствительной геохимии, геохронологии и изотопии пород и минералов, позволяющих решить многие проблемы петрогенезиса и эволюции континентальной коры для рассматриваемой территории остаются

ОТЗЫВ

1

ВХ. № 9-145 от 17.05.22
АУ УС

актуальными. В предлагаемой работе использованы и корректно интерпретированы все доступные современные методы исследования, что является основой достоверности выводов диссертанта.

Особенно хотелось бы отметить использование локальных методов (SIMS, LA-ICP-MS), получивших широкое развитие в последние десятилетия, которые позволяют установить условия образования и возраст процессов, выявить новые закономерности и особенности поведения редких и редкоземельных (REE) элементов в процессах гранулитового метаморфизма, а также пополнить банк данных по редкоэлементному составу метаморфического циркона.

Таким образом, **актуальность работы** несомненна и представлена в данном исследовании вполне убедительно.

Целью работы диссертант определил реконструкцию возраста и этапов метаморфизма для гранулитов далдынской серии Анабарского щита на основе комплексного изотопно-геохимического и минералогического изучения циркона, а также вмещающих пород и породообразующих минералов.

Для достижения цели был успешно решен ряд **задач**, из которых наиболее существенны следующие.

1. Локальное датирование циркона из главных разновидностей пород далдынской серии U-Pb методом, сопровождаемое изучением изотопного состава гафния и кислорода. Исследование распределения РЗЭ в цирконе.
2. Определение возрастных кластеров пород области сноса для кварцитов.
3. Датирование гранатсодержащих парагенезисов из гранулитов Sm-Nd методом с контролем распределения РЗЭ в минералах.
4. Определение P-T параметров и выделение этапов метаморфизма для гранулитов далдынской серии.

5. Сравнительный анализ данных по редкоэлементному составу циркона из гранулитов далдынской серии и сопоставление с данными для гранулитового циркона из других регионов мира.

Научную новизну работы кроме последней задачи, решенной впервые, определяет также то, что для детритового циркона из кварцитов далдынской серии установлен возраст 3.5 млрд лет, что отражает преобладание в области сноса палеоархейских магматических пород. Установлен наиболее древний мезоархейский этап формирования протолита для биотит-гиперстеновых кристаллосланцев с возрастом ~ 3.0 млрд лет. Время проявления раннеархейского этапа гранулитового метаморфизма, определено как ~ 2.7 млрд, а палеопротерозойского этапа - ~ 2.0 млрд лет. Исследован изотопный состав кислорода в цирконе из кварцитов, результат указывает на существенную контаминацию материнских расплавов супракристалльным веществом.

В основу работы положен богатый **фактический материал**, собранный коллективом Отдела РГ и ПИ Восточной Сибири («ВСЕГЕИ») в ходе проведения геолого-съёмочных работ 1:1 000 000 масштаба на территории листа R-49 – Оленек в 2011–2014 гг. Кроме ординарных аналитических данных автором получены пионерские результаты по петрологии, изотопной геохимии и геохронологии, которые поднимают осознание сложной геологической обстановки исследуемого района на новый уровень и дают возможность составления новых геолого-петрологических схем и моделей.

В ходе работы выполнено 459 анализов минералов (циркона, граната, пироксенов и амфиболов) на содержание редких и редкоземельных элементов методом SIMS на ионном микрозонде Cameca IMS-4f (Ярославский филиал ФТИАН РАН), 170 точек локального датирования циркона U-Th-Pb методом на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований (ЦИИ ВСЕГЕИ,) и 60 точек на Cameca IMS-1280-

HR в Институте геологии и геофизики Китайской Академии наук (IGG CAS), там же определен изотопный состав кислорода в цирконе (60 точек). Выполнено датирование 3 образцов Sm-Nd методом TIMS в ИГГД РАН.

Таким образом, **степень достоверности результатов исследования** обусловлена не только представительностью каменного материала но и прецизионными аналитическими исследованиями в аккредитованных лабораториях.

Практическая значимость работы в теоретическом, научном смысле заключается в развитии нового научного направления – петрохронологии, которое связывает данные геохронологии с условиями протекания магматических и метаморфических процессов. Кроме того, работа может быть использована при подготовке инновационных образовательных программ высшего образования в области геохимии, петрологии, изотопной геологии и геохронологии. Также результаты работы могут быть актуальны при составлении Государственных геологических карт.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих конференциях: IV Международная конференция памяти А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, 2015), XIV конференция СНО «Современные исследования в геологии» (Санкт-Петербург, 2015), X и XI Всероссийская молодежная конференция «Минералы: строение, свойства, методы исследования» (Екатеринбург, 2019, 2020), XII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2020), Геологический международный студенческий саммит (Санкт-Петербург, 2021), XXIX Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2021).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Содержит 183 страницы, 70 рисунков, 4

таблицы в тексте и 29 таблиц, представленных в 3 приложениях. Список литературы включает 170 источников.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи исследования и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимость и изложены основные положения, выносимые на защиту. **В первой главе** кратко, но достаточно информативно освещены основные геологические особенности Анабарского щита, история изучения и характеристики исследуемой диссертантом далдынской серии, при этом использован обширный литературный материал. Делается вывод, что далдынская серия представлена гиперстеновыми кристаллосланцами (эндербитами) и мафитовыми кристаллосланцами, а также гранатовыми гнейсами и метаосадочными породами (преимущественно кварцитами). **Во второй главе** описаны методики исследований геохимических особенностей пород и минералов и изотопные исследования. Показано, что применение современных локальных методов, позволяющих определить возраст по циркону, редкоэлементный состав породообразующих минералов и циркона, изотопный состав кислорода в цирконе из гранулитов, позволяет получить дополнительную информацию о происхождении и эволюции ранней сиалической коры. **Третья глава** посвящена геолого-петрографической характеристике и особенности состава пород и минералов гранулитов. Выявлено, что геохимические особенности пород далдынской серии указывают на их вулканическое происхождение как вулканогенной ассоциации преимущественно известково-щелочного состава с прослоями ультрабазитов. Термобарометрическое исследование пород установило два этапа палеопротерозойского метаморфизма – гранулитового (1997 млн лет) $T = 775^{\circ}\text{C}$ и $P = 7.5$ кбар и регрессивного амфиболитового (1920 млн лет) $T = 720^{\circ}\text{C}$ и $P = 6$ кбар. **Четвертая глава**, в которой дана изотопно-геохимическая характеристика исследуемых объектов, главным образом, по цирконам, представляет наибольший интерес. Она насыщена

многочисленным аналитическим материалом самого высокого уровня и, по сути, представляет собой самостоятельное исследование, как бы работу в работе. Очевидно, что диссертант приложил особые усилия и усердие для создания этой оригинальной части работы. В результате комплексного изотопно-геохимического исследования (U-Pb метод по циркону, изотопный состав кислорода и распределение редких и редкоземельных элементов в цирконе, Lu-Hf и Sm-Nd систематики) гранулитов далдынской серии Анабарского щита установлен наиболее древний мезоархейский этап формирования протолита для биотит-гиперстеновых кристаллосланцев с возрастом 3.012 млрд лет. Время проявления раннеархейского этапа гранулитового метаморфизма, определено как 2.7-2.8 млрд, а палеопротерозойского этапа - 2.0 млрд лет. Также автором работы сделан пионерский вывод, что сравнение полученных данных с цирконом из других комплексов мира говорит о том, что исследованный гранулитовый циркон имеет геохимические признаки, отражающие флюидное воздействие. В **заключении** приведены главные выводы работы в соответствии с целью и решаемыми задачами.

Основные защищаемые положения работы отражают содержание проведенных исследований и аргументированы в полной мере.

Первое защищаемое положение «**Детритовый циркон из кварцитов далдынской серии с возрастом 3.5 млрд лет отражает преобладание в области сноса палеоархейских магматических пород. Изотопный состав кислорода в цирконе из кварцитов ($\delta^{18}\text{O}$ от 5.4 до 9.8‰) указывает на контаминацию материнских расплавов супракрустальным веществом**» обосновано с избытком. Исследования проведены тщательно, аккуратно, корректно интерпретированы. Приведены геохимические характеристики для магматического циркона. Зафиксировано утяжеление изотопного состава кислорода для циркона из кварцитов $\delta^{18}\text{O}$ от 5.38 до 7.37‰ (одно значение достигает 9.82‰), что отражает вклад древнего корового вещества

Второе защищаемое положение «В основных гранулитах далдынской серии проявлен метаморфизм амфиболитовой фации (700°C и 6 кбар) с возрастом 1920 млн лет, наложенный на палеопротерозойский гранулитовый метаморфизм (775°C и 7.5 кбар)» базируется на изучении эволюции P-T параметров метаморфизма пород далдынской серии Анабарского щита, которое проведено на примере амфиболитизированного гранат-ортопироксенового плагиокристаллосланца и подробно описано диссертантом в (Сергеева и др., 2018).

Третье защищаемое положение «Циркон из гранулитов далдынской серии, по сравнению с цирконом из гранулитов других регионов мира, имеет геохимические признаки (инверсию Eu-аномалии и редуцирование Ce-аномалии, выполаживание спектра в области LREE, обогащение Ca, Ti, Sr), отражающие воздействие флюида, обогащенного несовместимыми элементами» диссертанту позволило сформулировать интересное исследование, проведенное им. Значительное количество аналитических данных по редкоэлементному составу гранулитового циркона из пород далдынской серии (426 анализов) дало возможность провести обобщение и сравнение с опубликованными данными для гранулитового циркона из комплексов мира (322 анализа). Основные статистические характеристики определены в зависимости от типа породы (основные по составу гранулиты – 102, средние – 70, кислые – 137, кварциты – 117 анализов). В частности, демонстрируется, что для значительного количества анализов циркона содержание неформульных элементов Ca и Ti превышает эмпирические верхние пределы, установленные для циркона, не испытавшего флюидное воздействие. Флюидом также были привнесены Eu, Li, Th, U. Поскольку Li в составе циркона является индикатором коровых процессов (Ushikubo et al., 2008), то природа флюида тоже коровая.

У рецензента есть несколько замечаний к работе, носящие, впрочем, рекомендательный характер.

1. Не совсем корректно название диссертационной работы, исследование также посвящено определению параметров и этапов метаморфизма пород далдынской серии Анабарского щита, их геохронологии, т.е. название не полностью раскрывает смысл исследования, кстати, и защищаемые положения можно было дополнить. Надеюсь, Людмила Юрьевна исправит название работы при написании монографии, которая, несомненно, была бы интересна широкому кругу геологов.

2. Учитывая, что часть исследования посвящена взаимоотношению породных комплексов далдынской серии, хотелось бы увидеть разрез к Карте геологического строения Далдынской площади, предложенной в диссертации (рисунок 1.3, стр.18).

3. Третье защищаемое положение и его обсуждение в работе, безусловно, являясь свежим и интересным, все же несет некоторый флер дискуссионности и размытость определения «гранулитовый циркон».

Проведенный анализ работы Л.Ю.Сергеевой позволяет утверждать, что она выполнена на интересном объекте с помощью современных аналитических средств, что делает ее неординарным явлением в отечественной науке. При ее выполнении соблюдены все формальные требования - все защищаемые положения доказаны и опубликованы, содержание автореферата и диссертации идентичны. Работа прекрасно организована и оформлена.

Информация о публикациях. Результаты диссертационной работы освещены в 15 печатных работах, в том числе в 9 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук (перечень ВАК), в 1 статье – в издании, входящем в международные базы данных и системы цитирования Scopus, Web of Science.

Диссертация «Состав и изотопно-геохимическая характеристика циркона из гранулитов далдынской серии Анабарского щита», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», предъявляемым к научно-квалификационным работам, и утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Сергеева Людмила Юрьевна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Л.Ю.Сергеевой «Состав и изотопно-геохимическая характеристика циркона из гранулитов далдынской серии Анабарского щита» обсужден и утвержден 06 мая 2022 года на объединенном заседании лабораторий «Генетической минералогии и петрологии» и «Аналитической химии» федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук. Протокол №1 от 06 мая 2022 года.

Составитель отзыва:

Руководитель лаборатории «Аналитическая химия», старший научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Вовна Галина Михайловна

Минобрнауки России Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВГИ ДВО РАН)		
Подпись <u>Г.М. Вовна</u>	заверяю	
Начальник		
отдела кадров	<u>И.А. Думов</u>	
" 06 "	05	2022 г.



Заведующий научно-исследовательским отделом петрологии и минералогии
федерального государственного бюджетного учреждения науки
Дальневосточного геологического института
Дальневосточного отделения РАН,
д.г.-м.н.

Высоцкий Сергей Викторович

Секретарь заседания:

Научный сотрудник лаборатории «Генетической минералогии и петрологии»
федерального государственного бюджетного учреждения науки
Дальневосточного геологического института
Дальневосточного отделения РАН,
к.г.-м.н.

Асеева Анна Валерьевна

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения
Российской академии наук (сокращенное - ДВГИ ДВО РАН)

Почтовый адрес: 690022 г. Владивосток, пр-т 100 летия Владивостока, 159

Телефон: +7 (423) 231-87-50

E-mail: director@fegi.ru
office@fegi.ru

Официальный сайт <http://www.fegi.ru/>

