

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Сергеевой Людмилы Юрьевны

«Состав и изотопно-геохимическая характеристика циркона из гранулитов далдынской серии

Анабарского щита»,

представляемую к защите на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук

по специальности 25.00.09 — геохимия, геохимические методы поисков полезных

ископаемых

Актуальность

Диссертация Сергеевой Людмилы Юрьевны посвящена важной теме — происхождению и ранней эволюции континентальной коры на примере Далдынского террейна Анабарского щита. В работе рассматриваются изотопные и химические характеристики пород гранулитовой фации, породообразующих минералов и циркона. Циркон на сегодняшний день является наиболее точным геохронометром, особенно для архея, а его устойчивость в процессах гранулитового метаморфизма позволяет использовать его для реконструкции условий образования гранулитов. В то же время современный набор аналитических методик *in situ* (SIMS, LA-ICPMS) позволяет определять изотопный и химический состав с высокой точностью и пространственным разрешением. Соответственно, изучение циркона в гранулитах несет или принципиально новую информацию или может дополнить и уточнить существующие представления, полученные другими методами.

Теоретическая и практическая значимость работы

Геохронология является основой существенного числа геологических исследований, в связке с геохимией и петрологией позволяет решать вопросы ранней эволюции континентальной коры, этим собственно и определяется научная и практическая значимость работы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

В работе три защищаемых положения, к одному из них есть замечание следующего характера.

Замечание 1: Не имея принципиальных возражений по сути защищаемых положений, нужно отметить не очень удачную формулировку 2 и 3 защищаемого положений. Так, в защищаемом положении 2 — постулируется возраст метаморфизма и его условия, в 3 — указываются

геохимические особенности циркона и их связь с воздействием флюида. Возникает вопрос, воздействие флюида связано с метаморфизмом? Возможно, лучше было бы посвятить 2 защищаемое положение возрасту, а 3 — условиям метаморфизма, которые привели к уникальным геохимическим характеристикам. В любом случае, это замечание носит стилистический характер, и не относится к сути защищаемых положений.

Основные положения работы представлены на докладах семи конференций, опубликованы в 9 статьях в журналах перечня ВАК, пять из которых индексируются базами WoS и Scopus (Геохимия, Петрология, Gesciences), и одна из журнала первого квартиля (Q1) по базе данных Scimago Journal Ranking.

Содержание, оформление и автореферат

Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 170 наименований, трех приложений с химическим составом пород и минералов, изотопными данными датирования цирконов и химическим составом цирконов. Общий объем диссертации составляет 183 страницы, за вычетом приложений и списка литературы — 123 страницы, из которых примерно 1/3 приходится на 70 рисунков и 4 таблиц. Автореферат соответствует тексту диссертации.

ГЛАВА 1 «ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА» глава занимает 13 страниц. В главе приводится описание Анабарского щита, подробно изложена история изучения и строение далдынской серии. Глава написана по образцу записок к геологическим картам, когда сухо излагается фактура, а интерпретация оставляется на откуп читателю. Сильная сторона приведенного описания заключается в её детальности, которая показывает авторскую осведомленность в фактическом материале. К главе есть несколько замечаний.

Замечание 2: коль скоро в первом защищаемом есть пункт про палеобассейны и источники сноса далдынских кварцитов, стоило разбавить фактурную часть главы кратким введением читателя в историю становления Анабарского щита, что из себя представляли метаморфические комплексы в прошлом, где были активные окраины, какие возрастные соотношения наблюдаются между комплексами, в какой последовательности происходила аккреция по литературным источникам.

Остальные замечания носят “редакторский” характер.

Замечание 3: рис. 1.1 построен по известным работам, и он опирается на представления О. М. Розена (1994) о строении Сибирского кратона. Во-первых, не все условные обозначения вынесены в легенду. Во-вторых, представления о структуре Сибирского кратона разнообраз-

ны. Возможно, автору следовало бы обратиться к более современным публикациям (напр., Donskaya, 2020; Priyatkina et al, 2020), в которых проведен синтез контраверсий и, соответственно, изложено более актуальное представление о строении Сибирского кратона.

Замечание 4: стр. 19 последний абзац — идет перечисление магматических образований, не упомянут мезопротерозойский дайковый комплекс.

ГЛАВА 2 «МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ» занимает 5.5 страниц. В главе описываются использованные в работе аналитические методы. Кратко сообщено о методах XRF, ICP-MS и ICP-AES, при помощи которых были определены концентрации главных и редких элементов. Чуть более подробно изложен ионный микрозонд и электронная микроскопия с энергодисперсионной приставкой. Наибольшая часть в главе посвящена изотопным исследованиям — Sm-Nd системы, U-Pb датированию циркона, Lf-Hf состава циркона и изотопному составу кислорода в цирконе. В конце главы описаны термобарометрические исследования. Есть одно редакторское замечание.

Замечание 5: в разделе, посвященном измерениям Sm-Nd системы, указано, что анализ проводился в двух лабораториях: ИГГД РАН и ЦИИ ВСЕГЕИ. При этом неотчетливо изложено, что и где выполнялось и какой протокол измерений был в ИГГД РАН (сколько было выполнено стандартов BCR, какой уровень холостого опыта, на какой стандарт приходила нормировка). Кроме того, некоторые ссылки не совсем отвечают контексту, например, Скублов и др., 2010б (такой ссылки в списке литературы вообще нет), Березин и др., 2012, Богомолов и др., 2002. Данные статьи не посвящены Sm-Nd методике, поэтому ссылаться на них некорректно.

ГЛАВА 3 «ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ПОРОД И МИНЕРАЛОВ ГРАНУЛИТОВ» является одной из двух содержательных глав и состоит из петрографической и геохимической характеристики изученных комплексов. Геохимическая характеристика пород и породообразующих минералов представлена отдельными блоками. Глава оформлена не очень аккуратно, на ряд рисунков нет отсылки из текста: 3.8б, 3.9, 3.11б, 3.12б. Некоторые диаграммы, упомянутые в тексте, отсутствуют: напр., классификационная диаграмма Ab-An-Or (на стр. 38 — указана ссылка на рис. 10, но это диаграмма AFM), также отсутствует диаграмма K-Rb, упомянутая на стр. 10. Подписи к рисункам крайне неинформативны, на диаграммах везде разные условные обозначения, нет сводной диаграммы или хотя бы общей классификационной диаграммы — все это сильно затрудняет восприятие материала. Выводы главы охватывают от силы половину изложенной фактуры. Основное замечание замечание по существу следующее.

Замечание 6: в главе приводится довольно подробно химический состав пород далдынской

серии, но выводы из этого описания довольно скудны — говорится только о вулканическом и осадочном происхождении протолита, и что гранулиты сформированы (вероятнее всего) в результате известково-щелочного вулканизма. Стоило более детально проанализировать мультиэлементные диаграммы и сделать вывод о тектонических условиях формирования изучаемых пород: мезократовых кристаллосланцев, плагиогнейсов и метаультрамафитов. Все они характеризуются различными спектрами, особенно интересно обратить внимание на распределение высокорядных элементов.

ГЛАВА 4 «ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА» является наиболее объемной главой. В главе последовательно излагаются U-Pb датирование, исследование Lu-Hf системы, изотопного состава кислорода и редкоэлементный состав циркона. Затем идет описание изучения Sm-Nd системы и датирования изохронным методом. В разделе 4.6 содержится обсуждение характеристик циркона. К этой главе есть несколько замечаний.

Замечание 7: основное замечание к этой главе сводится к крайне низкому уровню использования литературных источников (кроме раздела 4.6). Хуже всего обстоит дело с разделом 4.2, посвященному Lu-Hf изотопной системе. В вводной части раздела описывается важность использования Lu-Hf системы в цирконе, но нет ни одной ссылки. Дальше автор ссылается на себя. Для определения генезиса циркона используется диаграмма $\epsilon_{Nd}(T)$ vs $\epsilon_{Hf}(T)$ с ссылкой на Лохов и др., 2009. Эта ссылка также вызывает недоумение, поскольку, во-первых, эта статья в журнале не из WoS/Scopus, и данной тематикой задолго до К.И. Лохова занимался Jeff Vervoort и Jonatan Patchett, а одним из наиболее актуальных исследований в этой области является статья HammerliKemp, 2021. Кроме того, есть целый список исследователей, в работах которых используется гафниева изотопия для определения генезиса циркона, например, Peter Cawood, Bill Collins, Nick Roberts, Christopher Spencer.

Замечание 8: на диаграммах с конкордией приводится некорректный перевод величины $p(\chi^2)$.

Замечание 9: на рис 4.14 и 4.15 приведены не гистограммы. В частности нужно уточнить — это KDE или PDP.

Замечание 10: почему не приведены таблицы с Sm-Nd и Lu-Hf данными и расчетами модельных возрастов и начальных эпсилов? В Sm-Nd разделе нужно более подробно описать результаты, чем отличаются по характеристикам различные типы пород (например, гранулиты от метаультрамафитов). Не лишней была бы диаграмма $\epsilon_{Nd}-T$. В текущем виде раздел малоинформативен.

Замечание 11: некорректно строить изохрону по 2 точкам (рис. 4.27).

Общее заключение

В целом, следует отметить, что работа Сергеевой Л. Ю. проведена на высоком уровне. Высказанные замечания несколько не умаляют ценность этой работы. Данная диссертация является законченным научным исследованием, тема которого полностью соответствует паспорту специальности 25.00.09 — геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых и требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденный приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а её автор — Сергеева Людмила Юрьевна заслуживает присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 — геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Малышев Сергей Владимирович

16 мая 2022



Кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры геохимии, Институт наук о Земле
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский государственный университет
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. д.7–9,
интернет сайт: <http://earth.spbu.ru>
E-mail: s.malyshev@spbu.ru, раб, тел.: (812) 363-6197

Я, Малышев Сергей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета ГУ212.224.04, и их дальнейшую обработку.

Подпись, ручн *С.В. Малышев*
Сергей Владимирович
16 мая 2022

