

**ОТЗЫВ официального оппонента  
о диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук  
Багдасарян Татьяны Эдвардовны**

**на тему: «Тектоно-термальная эволюция Сибирской платформы в мезозой-кайнозойское время по результатам трекового анализа апатита» по специальности 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика**

Диссертация Багдасарян Татьяны Эдвардовны «Тектоно-термальная эволюция Сибирской платформы в мезозой-кайнозойское время по результатам трекового анализа апатита» посвящена актуальной теме, сформулированной в ее названии. **Актуальность** этой темы вызвана тем, что до сегодняшнего дня существовала необъясненная несогласованность датировок U-Pb и  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  методами по вулканическим породам провинции Сибирских траппов. Первый метод дает узкий интервал магматизма от 252 до 250 млн лет назад, тогда как второй метод, наряду с датировками в этом интервале значений, также давал заметное количество дат на 9-10 млн лет моложе. Такое омоложение изначально интерпретировалось в качестве доказательства присутствия второго пика объемного магматизма в пределах трапповой провинции. Однако, наличие (до работы Багдасарян Т.Э.) датировок в интервале 222-185 млн лет назад по апатиту из пород фундамента Сибирской платформы (Розен и др., 2009) методом трекового анализа, позволили сформулировать гипотезу, что на Сибирской платформе существенная термальная история продолжалась и в посттрапповое время. Для подтверждения этой гипотезы, в работе Багдасарян Т.Э. был проанализирован апатит из серии трапповых и одновозрастных щелочных интрузий. Были получены не только датировки методом трекового анализа, но и восстановлена вероятная термическая история путем моделирования с использованием программного обеспечения HeFTy (версия 1.8.3, Ketcham, 2005). В результате было сформулировано первое защищаемое положение, что «интрузивные тела Сибирской пермо-триасовой трапповой провинции после своего образования были погребены под лавовой толщей,

минимальная мощность которой составляла на севере Сибирской платформы 5-6 км, а на юге – 1-2 км. В позднем триасе – ранней юре (203-173 млн лет назад) вулканический чехол был частично эродирован, а интрузивные комплексы выведены в приповерхностные условия и затем не подвергались нагревам выше 60°C.». Данное защищаемое положение выглядит доказанным.

Второй частью работы является анализ апатитов пород фундамента Сибирской платформы, отобранных из керна скважин в основании Непско-Ботуобинской антеклизы. Апатит показал три кластера трековых возрастов, первый из которых совпадает с возрастными, полученными по интрузиям Сибирских траппов, второй соответствует времени позднеюрского-раннемелового рифтогенеза на обширной территории Центральной Азии, а третий – началу Байкальского рифтогенеза в раннем кайнозое. Непротиворечивая тектоническая интерпретация этих возрастов и построение согласованных термальных моделей по этим данным затруднены. Однако Багдасарян Т.Э. сумела корректно сформулировать еще два защищаемых положения по этим данным, отразив в них фактическую часть, что говорит об **обоснованности положений, выносимых на защиту**. Важно, что полученные трековые датировки по апатиту из пород фундамента совпадают с тем небольшим количеством трековых датировок по апатиту из пород фундамента юга Сибирской платформы и его складчатого обрамления, которые были опубликованы ранее (Розен и др., 2009; Jolivet et al., 2009; Van der Beek et al., 1996), что указывает на **достоверность** полученных данных и **обоснованность научных выводов и рекомендаций, выносимых на защиту**.

**Новизна** работы Багдасарян Т.Э. заключается, в первую очередь, собственно в получении трековых датировок по апатиту и моделировании термальной истории. Следует отметить, что Багдасарян Т.Э. принимала в аналитических работах непосредственное участие.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 236 единиц. В ней 48 рисунков, 10 таблиц и обширное приложение, в котором 8 таблиц и 3 рисунка. Общий объем диссертации – 140

страниц. Результаты, изложенные в диссертации опубликованы в 4 статьях в журналах, индексируемых в WoS и SCOPUS, еще одна статья принята к печати. Результаты апробированы на ряде российских и международных конференций. Диссертация соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, соответствует специальности 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика, а именно следующим ее направлениям: Пункт 4. Геодинамические модели формирования структурно-формационных комплексов (осадочных, магматических и метаморфических) применительно к конкретному региону, их сравнительная характеристика. Пункт 13. Глобальные и субглобальные геодинамические модели формирования литосферы и крупных ее сегментов (платформ и складчатых поясов); выявление и анализ общих закономерностей тектонической и геодинамической эволюции земной коры, литосферы и Земли в целом.

Несмотря на отраженные выше положительные моменты, к работе есть ряд замечаний, приведенных ниже в порядке встречаемости в тексте.

Во введении и по тексту на стр. 12, автор пишет, что длительность становления Сибирских траппов составляла 1 млн лет, а, возможно, существенно меньше. В том числе ссылаясь на Ivanov et al., 2021, Kamo et al., 2003, Burgess, Bowring, 2015. Однако, используя данные из этих работ, и это прямо указано в наиболее поздней из цитируемых статей, длительность основной фазы Сибирских траппов, по крайней мере, от арыджанской свиты до Гулинского карбонатитового плутона, который, весьма вероятно очень близок по возрасту к меймечитовым лавам, составляет  $1.91 \pm 0.38$  млн лет.

На стр. 10 – термальное воздействие от траппов Декан на кору сразу интерпретируется, как активность мантийного плюма. Не стоит подменять наблюдения – магматизм, интерпретацией причин магматизма – плюмом.

На стр. 13 в подрисуночной подписи появляется ссылка на Табл. 7, которая будет обсуждена много позже. Кроме того, этот рисунок использует

данные не только из Табл. 7, но и из Табл. 10. Чтобы избежать такого перескока, по-видимому, следовало эти таблицы перенести в Приложение.

На стр. 15 удивляет ссылка на учебное пособие В.В. Булдыгерова (2007) по поводу строения Сибирской платформы, когда имеется множество первичных работ в приличных изданиях по этому вопросу. Вообще в общих разделах, подбор цитируемой литературы несколько удивляет, равно как, местами, поверхностное описание. Хотелось бы более глубокой проработки литературных источников. Причем, вместо того, чтобы упоминать какие-то вещи, без аккуратного разбора, многие из них вообще можно было исключить из работы. Например, сперва говорится, что магматизм будет рассматриваться с 250 млн лет до более молодого возраста, поскольку только такой магматизм мог иметь влияние на трековые датировки, а потом бегло дается обзор и более древних кимберлитов. Или пишется, что наиболее популярная модель образования Сибирских траппов плюмовая, но есть и субдукционная. Все описание моделей сводится к одному краткому абзацу. В то же время, для сути работы, это лучше было вообще не упоминать, чем вот так ни о чем. Можно приводить и другие подобные примеры.

Ниже на стр. 15 дважды повторяется в перечислении магматических импульсов 3.5 млрд лет. Там же написано, что выступления представлены Анабарским и Алданским щитами, а Шарыжалгайский? Или из-за того, что на рис. 2 он назван поднятием, это уже не выступ? В итоге, Шарыжалгайский выступ фундамента не рассматривается в тексте диссертации вообще.

Стр. 22. Рис. 3 взят из диссертации Иванов, 2011. На нем показаны изученные работы с точки зрения получения тех или иных данных. Но все-таки прошло с тех пор 12 лет. Следовало этот рисунок дополнить новыми данными.

На стр. 23 первый абзац практически дословно повторяет сказанное ранее.

Стр. 28. Он [силл] внедрен. Кем? Тоже на стр. 29 и 31.

Стр. 28-29. Странно, что не приведены U-Pb (TIMS) датировки бадделеита, отобранного непосредственно из карбонатитов, при том, что

ссылка на Kamo et al. (2003), где такая датировка есть, указана. Позднее эта датировка была повторена в работе Ivanov et al., 2021. Она составляет  $250.33 \pm 0.38$  млн лет. Это гораздо точнее приведенных датировок из работ Kogarko and Zartman (2011) и Malich et al. (2015).

Стр. 29 и 30, Табл. 2: Лейкогаббро и лейкократовое габбро – надо было унифицировать терминологию внутри текста.

На стр. 30 и в других местах встречается последовательное написание пород во множественном и единственном числе даже в одном и том же предложении. Например: «якупирангит-мельтейгитом и ийолитами».

Стр. 36. Формулировка термина «температура закрытия» трактуется неправильно, при том, что стоит ссылка на Додсона (правда ссылка Dodson et al., 1973, тогда как она должна быть Dodson, 1973). Автор пишет «Мартин Додсон сформулировал и характеризовал понятие «температура закрытия» как температуру, ниже которой дочерние изотопы сохраняются в кристаллической решетке минерала» тогда как температура закрытия по Додсонову это температура на время, соответствующее кажущемуся возрасту геохронологической системы (в оригинале - closure temperature ( $T_c$ ) of a geochronological system may be defined as its temperature at the time corresponding to its apparent age). Почему эти два определения не тождественны, автору предлагается разобраться самой, прочитав внимательно статью Додсона.

Табл. 6. В ней для разных минералов – апатит, циркон и титанит – одних и тех же стандартных образцов пород приведены одинаковые значения возраста. А как же температура закрытия? Например, в Табл. 6 для апатита, циркона и титанита стандартного образца сиенита горы McClure приведено одинаковое значение  $523.51 \pm 1.47$  млн лет со ссылкой на статью Schoene, Bowring, 2006, тогда как рекомендованные в этой статье значения возраста для циркона составляют  $523.98 \pm 0.12/0.18/0.74$  млн лет, для титанита –  $523.26 \pm 0.65/0.72/1.27$  млн лет, для апатита –  $523.51 \pm 1.47/1.53/2.09$  млн лет. То есть, в таблице всем минералам приписывается возраст апатита. Причем на стр. 64 возраст апатита приведен правильно, но он отличается от такового в Табл. 6.

Следует также отметить указанную ошибку. В оригинальной работе Schoene, Bowring, 2006 приводятся три типа ошибок – внутренняя, позволяющая сопоставлять датировки, полученные относительно одного и того же калибровочного трассера, и две внешние, которые учитывают неопределенность калибровки трассера и также неопределенность в константах радиоактивного распада  $^{235}\text{U}$ . Автор в табл. 6 приводит наименьшую внутреннюю ошибку, тогда как очевидно, что для трекового датирования актуальна внешняя ошибка. Для туфов Fish Canyon в Табл. 6 автор приводит значение  $27.8 \pm 0.5$  млн лет со ссылкой на две работы Lanphere et al., 2001 и Kuiper et al., 2008. Во-первых, в тексте ошибочно дана ссылка Lanphere et al., 2001, тогда как это Lanphere and Baadsraard, 2001 (что верно отражено в списке литературы). Во-вторых, и это главное, приведенный в таблице возраст не соответствует никакому из цитируемых в работах. У Lanphere and Baadsraard, 2001 – рекомендованный возраст туфов Fish Canyon составляет 27.51 млн лет, со следующими значениями  $27.57 \pm 0.18$  млн лет для  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования калиевых минералов,  $27.44 \pm 0.16$  млн лет для Rb-Sr биотит-полевошпатовой изохроны,  $27.52 \pm 0.09$  млн лет – для U-Pb датирования циркона. У Kuiper et al., 2008 – астрономическая калибровка осадочных слоев в Марокко, комбинированная с  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датированием санидина их туфов Fish Canyon, дает для последних возраст  $28.201 \pm 0.46$  млн лет. Я не проверял данные по всем стандартам, но на первый взгляд, и для некоторых других существует аналогичные проблемы. Например, в табл. 6 для апатита Durango приведено значение  $31.4 \pm 0.5$  млн лет со ссылкой на статью McDowell et al. (2005), а на странице 50 для этого же стандарта дается значение  $31.44 \pm 0.18$  млн лет со ссылкой на эту же статью. Конечно, использование того или иного значения стандарта, особенно в пределах приводимых погрешностей, принципиально не повлияют на расчет трекового возраста неизвестных образцов (учитывая какие там суммарные погрешности), но надо быть аккуратнее при работе с геохронологическими данными.

Стр. 53. «Каждый трек образуется в результате деления отдельного изотопа  $^{238}\text{U}$ » - не изотопа, а ядра. Аналогичное замечание по поводу «потерь изотопов» на стр. 58. Изотопы никуда не теряются. Диффундируют атомы. Аналогичное замечание для формулировки температуры закрытия на стр. 36.

Стр. 55. «Процент оттоженных треков в зависимости от температуры и времени описывается прямыми Аррениуса» - не прямыми Аррениуса, а уравнением Аррениуса. Прямые линии на диаграмме Аррениуса появляются в координатах  $\ln(k) - 1/T$ . В цитируемом предложении также опечатка в слове «отожженных».

Стр. 59. Последний абзац на стр. 59 практически дословно повторяет абзац на стр. 48.

Стр. 61. «Для апатита из интрузивного тела Норильск-1 (пробы 3596-1 и 3598-1) анализы основных элементов были сделаны с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 SBU (SEM) в Институте земной коры СО РАН А.Е. Марфиным (г. Иркутск) (Иванов и др., 2022).» - в нашем институте нет такого оборудования и оно не описывается в цитируемой статье, а измерения Марфиным, очевидно, выполнялись в Томском государственном университете.

Стр. 64. Описание методики Rb-Sr датирования, по ощущению, было сделано путем автоматического обратного перевода с английского. Иначе непонятно, откуда взялось «нормализован в пределах пробега» (пробега – run?). «Общее количество заготовок для процедуры составило менее 0,01 нг для Rb и 0,1 нг для Sr» (общее количество заготовок – total procedure blank?).

Стр. 65. Аналогично описание методики U-Pb датирования апатита – это автоматический машинный перевод с английского. Иначе, откуда бы появилось лишнее смысла предложение типа «Графики конкордии и средневзвешенные значения общего возраста  $^{204}\text{Pb}$ , скорректированного на  $\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , рассчитанные для каждого образца, представлены на рисунке 28). К слову сказать, ссылка на рисунок 28 ошибочна. Нужный рисунок появляется значительно позже, это рис. 39.

Стр. 71. Табл. 8. Обращает на себя внимание, что по данным LA-ICP-MS концентрации урана получаются ровно в два раза ниже, чем по данным, с использованием внешнего детектора. На расчет возраста это не влияет, благодаря использованию зета-калибровки, но намекает на проблемы в используемом подходе анализа при помощи LA-ICP-MS. При этом на рис. 33 для образцов, которые помечены, как проанализированы методом LA-ICP-MS, используются концентрации U, взятые из метода внешнего детектора.

Стр. 74. «Полученные трековые возрасты образуют три кластера (рис. 34, 35)». На самом деле, на этих рисунках кластеров не видно. Надо было построить диаграмму плотности вероятности или ядерную оценку плотности, тогда эти кластеры проявятся наглядно.

Стр. 94. Воздымание даже 160 м за млн лет, это меньше 1 мм в год, что вряд ли можно назвать большим даже для платформенных областей.

Стр. 96. Вряд ли в Иркутский бассейн хоть сколько-нибудь поступал материал из эродирующихся Сибирских траппов. По крайней мере, на это нет никаких минералогических свидетельств. В Иркутский бассейн поступал материал из Забайкалья, а сам бассейн впоследствии был вовлечен в региональное поднятие Сибирской платформы. Что касается других бассейнов – возражений нет.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени



доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Багдасарян Татьяна Эдвардовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика.

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор РАН  
зам. директора по научной работе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт земной коры» Сибирского отделения Российской Академии наук

ИВАНОВ Алексей Викторович

10.05.2023 г.

Контактные данные:

тел.: +7 \_\_\_\_\_ и  
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:  
25.00.04 – петрология, вулканология

Адрес места работы:

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт земной коры» Сибирского отделения Российской Академии наук  
Тел.: 83952422282; e-mail: \_\_\_\_\_ и

Подпись сотрудника Института земной коры СО РАН Иванова А.В. удостоверяю:

