

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Инны Юрьевны Сафоновой «Внутриплитные океанические базальты из аккреционных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и западной Пацифики», представленную на соискание степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология

В диссертационной работе И.Ю. Сафоновой обсуждается фундаментальная проблема расшифровки состава и петрологии внутриплитного магматизма в древних океанах. В отличие от континентальных блоков, в которых проявления внутриплитной эндогенной активности разных геологических эпох сохраняются в виде вулканитов, субвулканических тел и интрузивов, кора древних океанов по большей части уничтожена в зонах субдукции, и ее останцы с проявлениями внутриплитного магматизма сохраняются лишь в аккреционных орогенах. Актуальность изучения внутриплитного магматизма именно на океанической коре определяется в первую очередь возможностью получить информацию о «чистых» плюмовых расплавах без вклада древнего корового обогащенного источника. Это имеет ключевое значение для изучения состава, элементной геохимии и, особенно, для геохимии радиогенных изотопов в мантийных резервуарах разных эпох.

Сложность решения поставленной в работе проблемы связана с интенсивной тектонической переработкой породных ассоциаций в аккреционных комплексах, что затрудняет проведение достоверных стратиграфических корреляций и выявление первичных взаимосвязей пород геолого-структурными методами. Для решения этой проблемы автор обращается к модели стратиграфии океанической плиты (СОП), применение которой позволяет проследить историю каждой океанической плиты от ее зарождения в зоне срединно-океанического хребта до исчезновения в зоне субдукции, и обеспечивает возможность решения обратной задачи – реконструкцию первичного положения отдельных фрагментированных объектов океанической плиты, изученных в аккреционных комплексах. Этот подход оказался весьма результативным и позволил автору успешно решить поставленные в работе задачи.

Для решения поставленных задач автор привлек широкий набор современных подходов и методов исследований, из которых наиболее результативным для достижения поставленных целей работы являются методы магматической петрологии. Это определяет правомерность представления данной диссертации по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Исследование диссертационной работы И.Ю. Сафоновой выполнено для крупнейшей на Земле системы аккреционных орогенов Центрально-Азиатского складчатого пояса и Западной Пацифики, которая занимает территорию центральной и восточной Азии и

охватывает более 700 млн лет геологической летописи Палеоазиатского океана и Палео-Пацифики.

В основу работы положены материалы автора, собранные в ходе полевых работ в 1995-2019 годах. Всего в работе представлены геологические, палеонтологические, геохронологические и изотопно-геохимические данные по 37 аккреционным комплексам центральной и восточной Азии, из которых 14 было изучено лично соискателем. Диссертация И.Ю. Сафоновой состоит из введения, шести глав и заключения общим объемом 444 страницы, включая 159 рисунков и 26 таблиц, а также 6-ти приложений (85 страниц). Библиография включает 776 наименований.

Главы диссертации последовательно раскрывают решение шести главных задач исследования, сформулированных во Введении, что обеспечивает четкую внутреннюю структуру работы и дает возможность читателю следовать логике исследования и оценивать доказательность построений и выводов автора. Каждая глава завершается кратким резюме – выводами. Все это облегчает восприятие огромного фактического материала и разнообразных моделей, представленных в работе.

Глава 1 (стр. 20-51) является введением в обсуждаемые в работе научные проблемы. В ней в сжатом виде раскрыты современные представления о палеоконтинентальных реконструкциях конца докембрия и фанерозоя, о мантийных плюмах, внутриплитных базальтах океанических островов и океанических плато. Кратко охарактеризованы вопросы эволюции палеоокеанов, коллизионный и аккреционный типы орогенов. Достоинством этой главы является изложение альтернативных представлений на фундаментальные вопросы тектоники и геодинамики. Это обеспечивает разносторонний взгляд на обсуждаемые научные проблемы. Основное внимание в главе 1 уделено раскрытию концепции «стратиграфия океанической плиты» (СОП), описанию геологического положения и состава пород СОП в составе аккреционных комплексов, а также взаимоотношений внутриплитных океанических базальтов и других пород СОП. Геологические карты, разрезы, колонки и фотографии, представленные в главе, удачно иллюстрируют основные положения текста, делая материал максимально понятным и доступным. Следует подчеркнуть, что данная глава не является просто обзором работ предшествующих исследователей. Ряд представленных здесь фундаментальных положений был разработан при активном участии автора диссертационной работы.

В Главе 2 (стр. 52-113) приводится геолого-структурная характеристика разновозрастных (от неопротерозоя до перми) аккреционных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса, которая охватывает всю историю существования Палеоазиатского океана. География объектов исследований впечатляет: они располагаются на территории России, Казахстана, Киргизии, Таджикистана, Китая и Монголии, причем в

изучении большинства объектов автор принимал личное участие. Это убедительно иллюстрируют прекрасные геологические фотографии, на которых показаны строение СОП и характер соотношений отдельных ее частей. Для каждого магматического комплекса дается координатная привязка, геологическая характеристика и структурно-тектоническая позиция изученных магматических пород, приведены номера конкретных образцов, которые представлены в последующих петрогенетических разделах работы. Предложенное в этой главе описание аккреционных комплексов по возрастным срезам, и краткое резюме в конце каждого подраздела дает возможность читателю самому на фактическом материале убедиться в правомерности выводов автора о сходстве геолого-тектонической эволюции разновозрастных аккреционных комплексов и близкой позиции в них внутриплитных базальтов.

В Главе 3 (стр. 114 -148) представлена краткая геологическая характеристика аккреционных комплексов западной Пацифики, описаны особенности геологического положения и состава внутриплитных океанических базальтов, входящих в составе СОП. Эта глава, построенная на оригинальных и литературных данных, раскрывает специфику СОП Палео-Пацифики, расширяя географию и возраст обсуждаемого в работе внутриплитного магматизма в составе фанерозойских орогенов Азиатского региона.

В Главе 4 (стр. 149 -291) обсуждаются результаты комплексных исследований состава и петрологии внутриплитных океанических базальтов в аккреционных комплексах Центрально-Азиатского складчатого пояса и западной Пацифики на основании оригинальных данных автора. Эта глава является основной частью диссертации как по объему (150 стр.), так и по значимости. Результаты комплексных петрогенетических исследований и реконструкций приведены для внутриплитных базальтов, входящих в аккреционные комплексы очень широкой географии и возраста, включая Горный Алтай (венд-кембрий), Казахстан (ордовик-ранний силур; поздний девон – ранний карбон), южный Тянь-Шань (девон), Акиоши, Мино-Тамба, Чичибу и Шиманто, Япония (карбон - мел). Для каждого комплекса в главе 4 изложены подходы, методы и результаты проведенных петрологических исследований внутриплитных базальтов. Детально описаны петрографические и петрогеохимические характеристики магматических пород. Где возможно, приведены результаты изучения составов фенокристов клинопироксена и расплавные включения, которые являются важными источниками петрогенетической информации. Изучены Sr-Nd-Pb изотопно-геохимические системы базальтов. Все эти данные служат основой для расшифровки петрогенезиса базальтов, состава и условий плавления их мантийных источников. Широта охвата позволяет говорить, что приведенные в работе результаты в полной мере характеризуют латеральное и возрастное многообразие аккреционных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и западной Пацифики

и являются представительными для характеристики внутриплитного магматизма Палео-Азиатского океана и Палео-Пацифики.

В Главе 5 (стр. 292 – 345) проведено обобщение всех полученных геологических, геохимических и петрологических данных по базальтам типа OIB, собранных в аккреционных комплексах. Это позволяет автору выявить закономерности вариаций геохимических и изотопных характеристик пород и выделить две главные группы пород, высоко- и низко обогащенные базальты (ВОБ и НОБ в авторском варианте, стр. 302 и табл. 5-2). Образование этих двух геохимических групп объясняется автором различиями мощности океанической литосферы и вариациями состава мантийного источника. Следует обратить внимание автора, что наиболее развернутое описание эффекта «крышки» с возможным влиянием не только на элементные, но и на изотопно-геохимические характеристики пород обсуждались в работе: Niu Y. et al., 2011. The Origin of Intra-plate Ocean Island Basalts (OIB): the Lid Effect and its Geodynamic Implications // J.Petrology. V. 52. P. 1443 – 1468. doi:10.1093/petrology/egr030

Значительный интерес представляет проводимое в главе сравнение состава и источников океанических и континентальных базальтов типа OIB. Автору удалось обосновать вывод о разном стиле дифференциации внутриплитных базальтов на континентальной и океанической литосфере. Вопрос о глубинах зарождения первичных расплавов как возможном индикаторе мощности литосферы, остался открытым.

В завершение главы 5 раздел «Состав внутриплитных базальтов как ключ к пониманию состава мантии» подводит итог петрологических и геодинамических исследований работы. На оригинальных и литературных данных обсуждается возможный источник обогащенных OIB магм. Анализируя разные возможности, автор приходит к заключению о ведущей роли перовскита в нижней мантии как вероятного источника LREE и HFSE.

В Главе 6 (стр. 346-381) обсуждаются вопросы влияния океанических поднятий на динамику роста континентальной коры и соотношения процессов аккреции и тектонической эрозии на конвергентных границах плит. Отдельное внимание в главе 6 уделено вопросам возможного использования представлений о СОП и внутриплитных базальтах океанических поднятий для геологического картирования аккреционных комплексов. Разработанный автором с коллегами метод картирования аккреционных комплексов запатентован (<https://findpatent.ru/patent/266/2667329.html>) и, надеюсь, получит широкое применение в практике отечественного геологического картирования. В завершение подводится итог работы с краткой характеристикой основных этапов океанического плюмового магматизма в Палеоазиатском океане и в Палео-Пацифике на возрастном интервале от позднего неопротерозоя до кайнозоя.

Анализ диссертационной работы позволяет утверждать, что представленные в ней материалы в полной мере обосновывают все защищаемые положения и раскрывают главные достижения и новизну исследований И.Ю. Сафоновой, которые сформулированы во Введении диссертации.

При знакомстве с работой у оппонента появилось несколько вопросов, которые лежат в области компетенции диссертации.

1. В модели СОП наиболее молодые ОИВ, залегающие на самой древней океанической коре, должны подстилаться самым толстым слоем осадков с увеличенной долей древнего терригенного материала с приближенного континента. Так ли это, удастся ли зафиксировать это геологическими методами и чувствует ли это геохимия радиогенных изотопов?
2. В работе показано, что увеличение мощности океанической литосферы приводит к снижению степени плавления мантийного источника и последовательному увеличению глубины отделения расплава от мантийного источника. Почему не удалось проследить этот «петрогенетический тренд» при увеличении мощности литосферы при переходе от океана к континенту?
3. В работе получена информация о проявлениях плюмового магматизма на огромной территории. Что можно сказать о причинах латеральной неоднородности разновозрастных плюмовых базальтов? Можно ли обсуждать неоднородности глубины и состава в мантийной области плавления в рамках моделей «геометрии плюма», или же все определяется только архитектурой литосферы?

К работе есть несколько смысловых и редакционных замечаний.

1. Не смог разобраться в рассуждениях о поведении Nb как возможного индикатора процессов контаминации в происхождении вендских базитов Курайского аккреционного комплекса Горного Алтая (стр. 160-162).

Из фразы «Низкие значения Nb/La_{pm} отражают деплетированный характер мантийного источника и поэтому предполагают контаминацию базальтового расплава скорее компонентами литосферной мантии, на состав которой влияет обедненная Nb погружающаяся океаническая плита» (стр. 162, 1 абзац) не понятно, какая обстановка и какой механизм предполагается? Если речь идет о надсубдукционно переработанной литосферной мантии, которая служила контаминантом для базальтовых расплавов, то как совместить это с магматизмом на океанической коре? Если речь идет о плавлении фрагмента захороненной океанической плиты, то почему эта плита обеднена Nb? Судя по особенностям надсубдукционного магматизма, остатки океанических плит, наоборот, должны быть обогащены Nb по отношению к La.

«Другим объяснением может быть фракционирование минералов, совместимых с Nb, например, магнетита или ильменита». Данные, приведенные на рис. 4.6 К, стр. 161, показывают, что это объяснение не подходит, поскольку практически все образцы с отрицательными Nb аномалиями ($Nb_N/La_N < 1$) имеют положительные Ti аномалии.

2. В части таблиц с изотопно-геохимическими данными не приведены отношения материнский/дочерний изотопы. Это усложняет привлечение представленных данных для работы другими исследователями.

3. Часто, если не повсеместно, используемая фраза «изотопный состав базальтов» некорректна. Изотопный состав имеет конкретный элемент, про который и надо писать.

4. На мультиэлементных диаграммах видно, что Zr/Hf отношение в некоторых образцах базитов резко отличается от такового в примитивной мантии, что предполагает фракционирование этих двух элементов. Если это природный процесс, то надо объяснить его причину. Если аналитический артефакт, то с этим необходимо разобраться.

5. Как считалась Ti аномалия (Ti/Ti^*), вынесенная на диаграммы (рис. 4-6 К)? В разных частях диссертации на мультиэлементных диаграммах Ti либо не вынесен, либо помещен между разными элементами.

6. На рис. 4-6 и стр. 161, содержания MgO в породах варьируют от 40 до 60: что это?

Сделанные замечания не затрагивают основного направления и защищаемых положений рассматриваемой работы и являются пожеланиями и рекомендациями автору при подготовке диссертации к публикации в виде монографии, что, по мнению рецензента, является необходимым.

В заключении хотелось бы еще раз подчеркнуть, что все защищаемые положения данной диссертации надежно обоснованы большим объемом современных геологических и аналитических данных, детальной проработкой, корректным анализом и интерпретацией всей совокупности геологической, геохронологической, петрологической и изотопной информации, полученной соискателем.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Основные положения диссертации отражены в 3 монографиях и более чем в 80 публикациях в ведущих российских и зарубежных журналах. В большинстве опубликованных работ И.Ю. Сафонова является первым автором, что свидетельствует о доминирующем личном вкладе соискателя.

Диссертационная работа Инны Юрьевны Сафоновой «Внутриплитные океанические базальты из аккреционных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и западной Пацифики», представленная на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04, представляет крупное научное обобщение в области магматической петрологии, тектоники и геодинамики. Автором

