

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Семеновой Дины Валерьевны “Петрохронология коллизионных гранитоидов Эрзинской тектонической зоны Западного Сангилена (ЮВ Тува)”, представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3. – петрология, вулканология.

Коллизионные события фиксируют взаимодействия крупных фрагментов литосферы и сопровождаются широкими вариациями термального режима и эндогенной активности, поэтому датирование таких событий имеет важнейшее значение для оценки динамики глобальной эволюции Земли. В то же время, для долгоживущих коллизионных систем остро дискуссионными вопросами остаются последовательность таких событий, которая может быть определена на основе изотопно-геохронологических исследований коллизионных гранитоидов. **Актуальность** диссертационной работы Семеновой Д.В. определяется необходимостью получения информации о влиянии тектоно-термальных процессов на сохранность U-Th-Pb системы циркона гранитоидов и основных закономерностях развития территории Западного Сангилена (Юго-Восточная Тува). Для получения результатов автором был собран фактический материал в ходе полевых работ в 2018 году, систематизированы материалы по геологическому строению и составу геологических комплексов Матутского гранитного массива и его обрамления. В ходе работ использовались рентгенофлуоресцентный анализ (13 проб), ICP масс-спектрометрический анализ (12 проб), рентгеноспектральный микроанализ цирконов (9 проб), рамановская спектроскопия и картирование циркона (4 пробы), метод дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD) (1 проба), катодоллюминесценция цирконов (11 проб), масс-спектрометрический анализ (LA-ICP-MS) цирконов (3 пробы). Изотопно-геохронологические исследования включали U-Pb датирование циркона методом LA-ICP-MS (11 проб), $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование биотита (2 пробы).

Здесь уместно отметить высокое качество оформления диссертации.

Для получения результатов автором лично проводились геохронологические (U-Pb датирование цирконов) и геохимические исследования, позволяющие на новом уровне оценивать петрохронологию коллизионных гранитоидов.

Диссертация состоит из Введения, 5 глав, заключения, 14 приложений и списка литературы. Диссертация изложена на 230 страницах, включая 69 рисунков, 8 таблиц и 14 приложений. Список литературы включает 130 наименований. Кратко рассмотрим содержание работы по главам.

Глава 1 содержит краткую информацию о современном состоянии термохронологического и петрохронологического подходов. В этой главе с использованием литературных данных рассмотрена применимость двух изотопных методов датирования ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ по набору минералов и U/Pb по циркону) для реконструкции термической истории магматических и метаморфических пород в диапазоне температур от $\sim 200^\circ\text{C}$ до $\sim 900^\circ\text{C}$. Проанализировано влияние наложенных термальных и деформационных процессов на устой-

чивость циркона и показаны пути решения проблемы неоднозначной интерпретации геохимических и геохронологических данных. Этот обзор, выполненный на высоком уровне, необходим для понимания особенностей петрохронологии.

В главе 2 описаны требования к выбору исследований, петрохронологические подходы при изотопном датировании и аналитические методы: сканирующая электронная микроскопия и микрорентгеноспектральный анализ, рамановская спектроскопия, метод дифракции отражённых электронов, масс-спектрометрические исследования (LA-ICP-MS) при U/Pb датировании и определении содержаний редких и редкоземельных элементов в цирконе и методика $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования. Учитывая, что автор использовал современные прецизионные методы анализа вещества с указанием места проведения исследований и подробным описанием методик, достоверность полученных изотопно-геохронологических данных не вызывает сомнений. Однако, из текста диссертации не совсем понятно, применялась ли коррекция на нерадиоγενный свинец при U-Pb датировании цирконов.

В главе 3 на основе литературных данных описаны 3 стадии (раннеколлизийная, 535-525 млн лет, коллизийная, 525-495 млн лет и позднеколлизийная, 495-465 млн лет) эволюции коллизийного орогенеза территории Западного Сангилен. Приведена геологическая характеристика, показаны петрографические, петрохимические и геохимические особенности Матутского гранитоидного массива. Кратко охарактеризованы магматические тела, прорывающие Матутский массив (комбинированные дайки, гранитоиды ухалагского комплекса участка Восточный). Эта информация является основой для оценки локальных тепловых и/или деформационных процессов при внедрении кислых и базитовых расплавов. Поскольку при характеристике состава гранитоидов Матутского массива автор использовал результаты определения петрогенных элементов в 26 пробах и редких элементов в 8 пробах (из них 2 использованы для U-Pb датирования) следовало бы добавить описание методов валового анализа. Средний состав гранитов по двум пробам представлен в таблице 3.2. С какой целью он приведён если он не описан в тексте?

Главы 4 и 5 занимают основной объём диссертации, в них представлен авторский фактический материал.

В главе 4 представлены результаты петрохронологических и геохронологических исследований гранитоидов Матутского массива. Эти работы включили в себя петрографию пород, характеристику кристаллов цирконов с катодолюминесцентными изображениями, рентгеноспектральный анализ цирконов центральных частей с осцилляторной зональностью, тёмных кайм без признаков зональности, содержания редких элементов в цирконах, U-Pb датирование цирконов, оценку температуры и возраста наложенных термальных событий. Показано, что омоложение U-Pb возраста (от 524 до 481 млн лет) могло происходить в результате поздних термальных событий, которые привели к смене обстановки кристаллизации и отразились как на породе в целом, так и на структуре цирконов с появлением тёмных кайм и/или трещин, залечивание которых происходило в ходе перекристаллизации исходного циркона с очищением перекристаллизованных областей от примесных элементов. Ar-Ar датирование биотита гранитов массива с учётом оценок тем-

пературы закрытия изотопной системы биотита позволило оценить глубину расположения массива на рубеже 466 млн лет. Материалы главы 4 легли в основу первого защищаемого положения.

В главе 5 представлены результаты петрохронологических и геохронологических исследований более молодых породных ассоциаций по отношению к породам Матутского массива: комбинированных даек участка Тавтыг-Даг и гранитоидов ухадагского комплекса его обрамления (участок Восточный). Здесь при обосновании выбора участков для детальных исследований автор отмечает, что базитовые дайки прорывают гранитоиды Матутского массива, вызывая плавление гранитов и появление минглинг даек. На мой взгляд недостаточно сослаться на опубликованные работы В.Г. Владимирова с соавторами (2017, 2019) и краткие комментарии к фотографиям (рис. 3.7) при описании геологии таких даек. Напрашивается более детальная геологическая характеристика. Учитывая, что автор использует термин “комбинированная дайка” наряду с термином “базитовая дайка” остаётся неясным это один и тот же тип даек или это разные дайки. Иными словами, существуют ли в пределах Матутского массива базитовые дайки без признаков минглинга? Как часто встречаются дайки и каков их относительный объём?

На участке Тавтыг-Даг проанализированы 5 проб (четыре на разном расстоянии от габброидов и одна непосредственно из габброидов на контакте), что позволило автору охарактеризовать процесс воздействия базитов на вмещающие граниты. Граниты на расстоянии 1 метр – 508 млн, граниты на расстоянии 60 см – 511 млн, граниты на расстоянии 15 см – 516 млн, гибридизированный гранит из зоны контакта с гранитами – 482 (дайка) и 512 млн (сами граниты, подверженные тепловому воздействию), габброиды дайки – 486 млн. Здесь возникает вопрос о том почему близко расположенные граниты к зоне контакта (по логике более подверженные термальному воздействию дайки) показали более древние возрасты по сравнению с удалёнными от дайки гранитами.

Для гранитоидов ухадагского комплекса его обрамления (участок Восточный) принят возраст 483 млн. Возраст позднего термального события зафиксирован как в цирконе (тёмная кайма), 460 млн лет, так и в биотите Ar-Ar методом, 459 млн лет.

Материалы главы 5 позволили автору сформулировать 2 и 3 защищаемые положения.

Очевидно, что используемый автором системный подход к изучению магматических комплексов себя полностью оправдывает, поскольку позволил автору оценить процесс теплового и деформационного воздействия со стороны базитов на вмещающие граниты Матутского массива, что определяет **новизну исследования**.

Все защищаемые положения обоснованы фактическим материалом и не вызывают сомнений.

Главным достижением диссертационной работы, расширяющим наши знания о раннепалеозойской истории геологических комплексов коллизионной системы Западного Сангилена как одного из ключевых звеньев Центрально-Азиатского складчатого пояса,

является предложенная автором структурная модель, включающая три основных тектоно-термальных этапа:

Этап 522 млн лет, отвечающий времени заложения Эрзинской тектонической зоны с доминированием взбросовой кинематики и консолидации кислых магм Матутского массива в форме гарполита на глубине ~ 25 км.

Этап 485 млн лет, в течение которого происходит фрагментация Эрзинской тектонической зоны и реализуется базитовый магматизм с термальным воздействием на весь объем Матутского фрагмента, включая гранитоиды ухадагского типа в его обрамлении. Позиция Матутского тектонического блока отвечает глубинам ~ 15 км.

Этап 465 млн лет, характеризующий повторный прогрев базитовыми магмами вышележащих структур Матутского фрагмента на глубинах ~ 10 км

Приведённые выше замечания не влияют на главные результаты и выводы работы. Актуальность темы исследований, высокий научный уровень, показанный автором, его личный вклад в решение проблемы влияния тектоно-термальных процессов на сохранность геологического объекта и на U-Th-Pb систему циркона, указывают на то, что рассматриваемая работа полностью отвечает требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней" ВАК. Основные результаты исследований, позволившие сформулировать защищаемые положения, представлены в 4 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Ее автор, Семенова Дина Валерьевна, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3. – петрология, вулканология.

Официальный оппонент,

Воронцов Александр Александрович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геохимии основного и ультраосновного магматизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, адрес: 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, тел. 89246100559, voront@igc.irk.ru

Я, Воронцов Александр Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Подпись *Воронцов А.А.*

