

Отзыв

Официального оппонента на диссертацию **Гаврюшкиной Ольги Александровны**
«ПЕТРОГЕНЕЗИС ПЕРМО-ТРИАСОВЫХ ГРАНИТОИДОВ АЛТАЯ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.04 - петрология, вулканология

Диссертация О.А. Гаврюшкиной представляет исследование, направленное на решение научной проблемы образования гранитоидов в анорогенных условиях и природы анорогенного магматизма в целом. Среди массивов анорогенные гранитоидов значительное число имеет редкометалльную минерализацию Sn, W, Mo, Li, Be, U, REE и это делает исследование процессов их образования актуальным также в плане выявления причин рудоносности и условий формирования редкометальных месторождений. Регион, на примере которого решаются указанные проблемы, – хребты Горного и Рудного Алтая – является сложно построенным и неоднородным складчатым сооружением с многоэтапным магматизмом, в том числе рассматриваемым анорогенным пермо-триасового возраста.

Диссертационная работа базируется на значительном собственном материале автора, собранном в течение 4 полевых сезонов, а также материале коллег соискателя по 7 массивам гранитоидов, в том числе многофазным. Соискателем выполнен значительный объем петрографических исследований и определений составов породообразующих и аксессуарных минералов на электронном микрозонде (более 1800 анализов). Проведены исследования химического состава пород, включая определения содержаний петрогенных и микроэлементов (около 50 проб), изотопного состава Sr и Nd (13 проб), выполнены геохронологические исследования амфиболов и биотитов $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом для всех исследованных массивов и ряда их сателлитов (11 определений возраста). Такой набор методов является традиционным для подобных исследований, а объем выполненных аналитических работ весьма значителен. Аналитические работы выполнены в ИГМ СО РАН и в других ведущих лабораториях России по опробованным методикам, поэтому их качество не вызывает сомнений.

Диссертация объемом 315 с. состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и двух приложений с результатами аналитических работ. Во введении определены цели и задачи исследования, указан объем использованного фактического материала, обозначены основные выводы выполненной работы в форме защищаемых положений, определена новизна исследования, а также представлен ряд других сведений, необходимых для подобного рода работ.

В **главе 1** «Краткий геологический очерк» представлена история геологического изучения Алтая, тектоническое районирование этого региона и история геологического развития. В контексте рецензируемой работы эта глава представляется слишком краткой, всего 6 страниц, для такой сложно построенной территории с дискуссионной геологической историей. А ведь здесь речь идет о формировании коровых протолитов для последующего анорогенного гранитоидного магматизма. Целесообразно было бы снабдить эту главу также тектонической схемой с областями развития ранне- и позднекаледонской и герцинской континентальной коры, в пределах которых расположены изучаемые массивы гранитоидов.

Глава 2 «Геологическая позиция, внутреннее строение и возраст интрузий» посвящена расчленению магматических комплексов Алтая и описанию строения изученных массивов. Здесь собраны опубликованные и представлены новые геохронологические данные для пермо-триасовых гранитоидов. На основе показанного перерыва в магматизме около 50 млн лет и отсутствия очевидной связи с орогенными событиями в регионе обоснована анорогенная природа пермо-триасовых гранитоидного магматизма. Приведенные в этой главе материалы легли в основу первого защищаемого положения, к которому нет замечаний.

Однако по самой главе можно сделать следующие замечания:

- не ясно, насколько полно изученные 7 массивов характеризуют пермо-триасовый гранитоидный магматизм Алтая в целом; есть ли еще установленные или предполагаемые массивы, относящиеся к этому этапу; каков общий объем этого магматизма, связываемого с периферией Сибирской LIP?

- геологические карты не всегда снабжены масштабной линейкой, поэтому трудно оценить размер объекта исследования;

- в петрографической по характеру работе очень странно встретить несуществующее название породы «монцограносиенит» (Табл. 1).

В **главе 3** «Структурно-текстурные особенности и минеральный состав пород» приведено детальное петрографическое описание основных типов пород изученных массивов, показано широкое разнообразие пород. В этой главе рассмотрен порядок кристаллизации породообразующих и акцессорных минералов пород. В целом, глава насыщена фотографиями прозрачных шлифов, иллюстрирующими основные петрографические типы пород массивов и взаимоотношения минералов. Однако в ней явно не хватает резюмирующей таблицы, позволяющей сравнить изученные массивы по набору породообразующих и акцессорных минералов.

Глава 4 «Геохимические и изотопные характеристики» посвящена описанию химического и изотопного (Sr и Nd) разнообразия пород массивов. Для каждого массива показано положение составов слагающих пород на традиционных химических классификационных диаграммах и тектонических дискриминантных диаграммах, также представлены спектры распределения нормированных содержаний микроэлементов. Автором убедительно показано, что, несмотря на анорогенную природу пермо-триасовых гранитоидов Алтая, их составы очень разнообразны и сопоставляются с гранитами разных геохимических типов: I-, S- и A-типов и разных геодинамических условий: внутриплитных, синколлизийных и островодужных. При этом геохимия гранитоидов Алтая значимо отличается от геохимии типичных внутриплитных гранитоидов древних платформ.

Изотопные характеристики Nd пород массивов показывают поразительное сходство (кроме Тархатинского массива). Полученные умеренно-деплетированные значения изотопного состава Nd, с одной стороны, согласуются с полем изотопной эволюции «каледонской» коровой провинции Центрально-Азиатского складчатого пояса (Kovalenko et al., 2003). С другой стороны, автор указывает на существование корреляции изотопного состава Nd пород массивов и состава континентальной коры вмещающих эти массивы террейнов. Однако кора террейнов различна, ее изотопный состав тоже различен, а значимые отличия изотопного состава отмечаются лишь для пород Тархатинского массива.

Выводы из этой главы представлены во втором защищаемом положении, которое представляется полностью обоснованным.

Главу 5 «Минералогическая характеристика интрузий» надо рассматривать как основную главу работы, где в наибольшей мере представлен собственный фактический материал автора и где подробным образом рассмотрены вариации составов породообразующих минералов пород всех изученных массивов: полевых шпатов, пироксенов, амфиболов, слюд, а также их соотношения с акцессорными минералами. Интересным результатом этих исследований стало то, что, составы биотитов отчетливо показывают анорогенную природу изучаемых гранитоидов, в отличие от составов пород, которые допускают различные варианты образования. По составам биотитов фиксируется две фазы эволюции расплавов в большинстве массивов: основных–средних и кремнекислых пород. При этом происходит увеличение активности кислорода. В то же время автор отмечает увеличение активности кислорода на этапе эволюции кремнекислых расплавов. Из рисунка 42, на основе которого делается такое заключение, это не видно. Здесь составы биотитов из кремнекислых пород действительно образуют тренды

преимущественно между буферами QFM и HM, однако связь с кремнекислотностью пород не очевидна.

Вывод об увеличении активности кислорода также делается на основе смены в акцессорной минерализации ильменита на титанит, увеличении содержания Mn в ильмените и наличия псевдоморфоз ортита, монацита, рутила, кварца и флюорита по титаниту. К такой интерпретации есть ряд замечаний:

- в цитированной работе (Harlov et al., 2006), где описано замещение ильменита титанитом, речь идет о метаморфических процессах и определенном составе титанита с высокими концентрациями глинозема и OH. В рецензируемой работе составы титанита не приведены, каймы минералов не так очевидны, поэтому возникает вопрос – насколько правомерно распространять вывод из работы (Harlov et al., 2006) на рассматриваемые гранитоиды? Условия стабильности минеральных ассоциаций с ильменитом или титанитом обсуждаются и в других работах (например, Wones 1981, 1989; Xirouchakis and Lindsley, 1998 и др.), однако они не использованы автором.

- содержания Mn в ильменитах пермо-триасовых гранитоидов Алтая действительно высокое, что само по себе может говорить о высокой активности кислорода. Однако изменение концентрации Mn в ильмените по мере эволюции расплавов не показано;

- описанные псевдоморфозы по титаниту скорее связаны с увеличением активности не кислорода, а фтора, поскольку содержанием фтора в расплаве определяется кристаллизация титанита или флюорита (Price et al., 1999).

К сожалению, в этой главе основное внимание уделено составам слюд, тогда как амфиболы остались незаслуженно обделенными. А ведь по ним также можно оценить активность кислорода, воды и условия кристаллизации (например, по работам Ridolfi et al., 2010, Putirka 2016 и др.). Вероятно, в комплексе с составами биотитов и акцессорных минералов вывод об эволюции активности кислорода выглядел бы более надежным.

Отдельно надо отметить, что эта глава предваряется разделом «Методика минералогических исследований», в которой указаны пределы обнаружения элементов (табл. 5.2). При этом в дальнейшем рассмотрении составов часто обсуждаются содержания ниже этих значений по Rb, F, Cl и другим элементам. Особенно показательны содержания Cl в слюдах. Для этого элемента указан предел обнаружения 0.13 мас. %, а для основной группы составов слюд обсуждаются содержания ниже 0.1 мас. %.

Материалы этой главы обобщены в третьем защищаемом положении. Его формулировка допускает двоякое понимание. Если фраза «повышение фугитивности кислорода и возрастающая роль флюида на заключительных этапах формирования интрузий» относится к эволюции кремнекислых расплавов, то в работе это не обосновано.

На основе приведенного материала такое заключение можно сделать только в отношении перехода от мафических к салическим магмам.

В главе 6 «Петрогенезис» предлагаются модели формирования пермо-триасовых анорогенных гранитоидов Алтая, при этом для трех разных серий предлагаются разные механизмы, различающиеся преимущественно масштабами взаимодействия мантийных и коровых магм. Предложенные модели логически вытекают из приведенного в работе материала. Остается только не ясно, как при сильно различающемся геологическом строении террейнов, вмещающих изученные массивы, изотопный состав относительно небольших гранитоидных массивов со значительной долей корового вещества в источнике варьирует в пределах \sim трех единиц $\epsilon_{Nd}(T)$ (Тархатинский массив – исключение)? В Китайском и Монгольском Алтае, куда продолжаются позднекаледонские структуры Горного Алтая, вариации изотопного состава гранитоидных массивов более существенны и отражают значительную неоднородность корового протолита (например, Козаков и др., 2007, Саватенков и др., 2020).

Четвертое защищаемое положение логически вытекает из рассмотренных моделей и является их синтезом. Предложенный механизм не является новым, но для изученных пермо-триасовых гранитоидов Алтая обоснован впервые.

Заключение. В заключении отмечу, что диссертационная работа Гаврюшкиной О.А. является серьезным научным исследованием, написана хорошим профессиональным языком. Наиболее важным выводом работы, на мой взгляд, является то, что в анорогенных условиях могут формироваться гранитоиды очень широкого диапазона составов, поэтому использовать геохимические характеристики гранитоидов для определения геодинамических обстановок необходимо с осторожностью. В то же время составы породообразующих минералов (в настоящем исследовании слюд) являются более надежным индикатором анорогенной природы гранитоидов.

К сожалению, автор достаточно скуп на иллюстрации. Многие геохимические закономерности, обсуждаемые в тексте, хотелось бы увидеть на графиках. Большинство приведенных диаграмм являются «традиционными», но они плохо иллюстрируют имеющиеся закономерности. Более «свободный» подход к графическому представлению геохимических данных значительно улучшил бы восприятие материала и позволил бы снять ряд замечаний. В целом высказанные к работе замечания свидетельствуют о сложности выбранных объектов, их геологической позиции и недостаточности наших теоретических знаний о многих процессах. Эти замечания не умаляют ценность и значимость проведенного исследования.

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации. Уровень проведенных научных исследований соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Полученные результаты соответствуют пунктам 1 (магматическая геология) и 2 (магматическая петрология) паспорта специальности 25.00.04 – петрология и вулканология. Считаю, что автор диссертации, Ольга Александровна Гаврюшкина, заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Александр Михайлович Козловский

Кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории редкометального магматизма Федерального бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук

Почтовый адрес: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35, ИГЕМ РАН

Телефон: +74992308492

E-mail: amk@igem.ru

Я, Козловский Александр Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Дата 28.05.2021

