



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

119017 Москва, Старомонетный пер., 35, тел. (495) 951-45-79 (канц.), факс (495) 951-15-87 ИНН 7706042076 КПП 770601001
Расчётный счёт № 40105810700000010079 в УФК по г. Москве БИК 044583001
Отделение 1 Московского ГТУ Банка России, г. Москва 705 Лицевой счёт № 03319336840
ОКАТО 45286596000 ОКОНХ 95110 ОКПО 02699576

28.04.2014. № 13104-02-2113-29

На № _____

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГЕМ РАН
академик  Н.С.Бортников
24 апреля 2014 г.



Официальный отзыв ведущей организации

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии
рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук
(ИГЕМ РАН)**

на диссертационную работу Соколовой Екатерины Николаевны

**"Физико-химические условия кристаллизации гранитных расплавов редкометалльных
дайковых поясов Южного Алтая и Восточного Казахстана",
представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.04 - "петрология, вулканология".**

Диссертационная работа Е.Н. Соколовой посвящена изучению физико-химических условий кристаллизации и эволюции гранитных расплавов на примере редкометалльных дайковых поясов Южного Алтая и Восточного Казахстана, сложенных онгонитами и эльванами. При этом Восточно-Калгутинский дайковый пояс на Южном Алтае является частью рудно-магматической системы, включающей крупное Mo-W месторождение, а Чечекский и Ахмировский дайковые пояса, расположенные в Восточном Казахстане не имеют очевидной связи с оруденением.

Впервые онгониты, являющиеся субвулканическим аналогом редкометалльных литий-фтористых гранитов, были выявлены в конце 1960 годов на территории Монголии. Они

являются концентраторами многих редких элементов (Li, Rb, Be, Nb, Ta и др.), вплоть до рудных концентраций. Такие породы являются и долго еще будут являться постоянным объектом детального петрологического и геохимического исследования во всем мире. Однако состав расплавов, из которых кристаллизовались онгониты, трудно оценить. В значительной степени это связано с тем, что даже стекла онгонитов и топазовых риолитов, образовавшиеся в результате закалки магмы, не отражают ее реальный состав, особенно в отношении летучих и некоторых редких элементов. Только расплавные включения являются достоверным источником информации о составе магматических расплавов, ответственных за формирование этих пород, включая содержание в них воды, F, Cl и других летучих компонентов, а также элементов-примесей.

В этой связи, главным методом решения поставленных в работе задач являлся метод исследования включений минералообразующих сред, включающий в себя оптические, термометрические и криометрические исследования. Следует отметить, что этот метод очень сложный и трудоемкий. Не вызывает сомнения, что автор полностью овладел им и стал квалифицированным специалистом в области термобарогеохимии.

Использование метода исследования включений минералообразующих сред, с последующим применением электронно-зондового и ионно-зондового микроанализа, позволили автору получить новые оригинальные фактические данные о P-T параметрах, составе и эволюции редкометальных магм для пород дайковых поясов Южного Алтая и Восточного Казахстана и оценить роль магматогенного флюида в процессе их кристаллизации. Впервые установлено, что формирование этих пород происходило из расплавов с высокими содержаниями редких литофильных элементов.

Необходимо отметить, что в литературе, в том числе и зарубежной, данные о составе магм для редкометальных гранитов чрезвычайно редки. Поэтому, представленная на рассмотрение диссертационная работа весьма актуальна.

В основе диссертации лежит как собственный фактический материал, собранный автором, так и коллекции, предоставленные другими исследователями.

Рецензируемая работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 191 наименование. Объем работы составляет 182 страницы текста, 72 рисунка и 21 таблицу.

Во введении кратко обсуждаются все разделы, необходимые для кандидатской диссертации (актуальность, фактический материал, научная новизна и т.д.). Апробация работы была проведена на отечественных и зарубежных конференциях, основные результаты изложены

в 21 работе, из них 2 статьи, отражают результаты исследования онгонитов Калгутинского массива и дайковых поясов Восточного Казахстана и опубликованы в рецензируемых российских журналах, включенных в список ВАК.

В первой главе на основе литературных данных рассмотрены вопросы классификации и условия образования редкометальных гранитоидов, приводятся возможные модели формирования этих пород, рассматриваются механизмы, приводящие к накоплению рудного вещества. В итоге, на основании анализа этих данных, автор делает вывод о том, что предпочтительным на настоящий момент механизмом формирования редкометальных расплавов является кристаллизационная и эманационная дифференциация при участии магматогенного флюида.

Основное замечание к этой части работы сводится к следующему. Автор ограничивается рассмотрением только одного типа редкометальных гранитоидов (литий-фтористых гранитов и их вулканогенных аналогов) и совершенно игнорирует редкометальные щелочные граниты, о которых в контексте проблемы следовало бы упомянуть.

В этой же главе на основе литературных данных изучения расплавных включений в минералах онгонитов, эльванов и литий-фтористых гранитов из различных регионов, приводятся параметры кристаллизации (температура, давление) перечисленных пород. Эти результаты сведены в таблице 1. В результате, автор приходит к заключению, что «общими характерными особенностями рассмотренных онгонитов, литий-фтористых гранитов и подобных им пород являются...низкая температура и высокое флюидное давление при их формировании». Однако в таблице приводится целый ряд данных о температурном режиме образования онгонитов, литий-фтористых и флюоритсодержащих гранитов массивов Онгон-Хайерхан, Дурбен-Дорт-Ула, Бага-Газрын, Балджа-Гол (Монголия), Утулик (Прибайалье), где температуры гомогенизации расплавных включений находятся в интервале от 860 до более 1000°C. Поэтому сделанный диссертантом вывод требует уточнения.

Заключает главу небольшой раздел, где приводятся главные черты тектонического и геодинамического положения редкометальных дайковых поясов Южного Алтая и Восточного Казахстана. На наш взгляд, этот раздел написан очень сжато (около страницы), и его следовало бы представить более развернуто.

Во второй главе рассмотрены минералого-геохимические и аналитические методы исследования, которыми пользовался автор, а также термобарометрические методы, применяемые для исследования расплавных и флюидных включений. Большое внимание уделено методическим особенностям исследования магматических включений в минералах.

Следует отметить, что диссертант освоил и использовал в проведенных исследованиях все современные методики изучения включений минералообразующих сред.

Однако к этой части работы есть вопросы.

1. В разделе 2.2. «Термобарометрические методы» автор предлагает оптимизацию термометрических исследований расплавных включений. Автор пишет: «В связи с техническими особенностями конструкции автоклава, по нашим оценкам, задаваемое давление на 1-2 кбар ниже, чем предполагаемое давление при захвате исследуемых включений». Возникает вопрос – какие именно технические особенности конструкции автоклава заставляют автора задавать давление опыта заведомо ниже давления захвата расплавных включений? Ведь судя по данным автора предполагаемое давление захвата расплавных включений составляло ≥ 3 кбар, а автоклавы выдерживают давление в 3 кбар.
2. В этом же разделе автор приводит обзор о влиянии на результаты термометрических измерений различных факторов, таких как $\alpha - \beta$ переход кварца, сжимаемость кварца под давлением, термическое расширение и т.д. Ранее эти вопросы неоднократно рассматривались в литературе (например, Роддер, 1987). Было показано, что погрешность, обусловленная этими факторами, не существенна. Проведя ряд экспериментов, диссертант, по-существу, пришла к тому же выводу. Ею установлено, что полученные температуры гомогенизации с давлением 1-2 кбар завышены на 15-30°C. Как правило, разброс измерений в одном образце укладывается в этот диапазон. Тем не менее, автор рекомендует проводить опыты по предложенной методике, что представляется неоправданным.

Третья глава посвящена результатам изучения Чечекского и Ахмировского дайковых поясов в Восточном Казахстане. В ней приводится геологическая позиция и возраст этих объектов и в кратком виде история их изученности. Также автором детально рассмотрены петрографические и геохимические особенности изучаемых пород, что в итоге позволило ей выделить две группы пород в составе Чечекского пояса: ультраредкометальную, с высокими концентрациями фтора, фосфора и редких металлов (Li, Rb, Cs) и низкими содержаниями РЗЭ, и редкометальную, характеризующуюся более низкими концентрациями редких элементов и более высокими содержаниями РЗЭ по сравнению с первой группой пород. Породы Ахмировского пояса выделяются автором в отдельную геохимическую группу, отличающуюся самыми высокими концентрациями редких и редкоземельных элементов. Подробно исследован минеральный состав каждой группы пород. Показано, что каждому из выделенных геохимических типов пород соответствует набор минералов определенного состава. Эти данные частично легли в основу первого защищаемого положения.

Последний раздел этой главы посвящен результатам исследования расплавных и флюидных включений во вкрапленниках кварца пород исследуемых дайковых поясов. В нем приводится описание фазового состава расплавных и флюидных включений, результаты термометрических опытов с ними, рассматривается химический состав стекол гомогенизированных расплавных включений.

Имеются небольшие замечания к этому разделу.

1. Автором приводится единое описание фазового состава расплавных включений в минералах различных групп пород Чечекского и Ахмировского дайковых поясов. Однако в дальнейшем делается вывод о том, что между минеральным составом расплавных включений и составом пород существуют корреляции. Так возможно это разные типы включений, характеризующиеся различным набором дочерних фаз, и их следует рассматривать отдельно?
2. В разделе «Термометрия расплавных включений» приводится диапазон температур гомогенизации для РВ в кварце онгонитов Чечекского пояса, но нижний предел этого температурного диапазона соответствует лишь частичной гомогенизации включений, поэтому такое представление данных искажает реальные температуры формирования этих пород.

В четвертой главе представлены результаты исследования Восточно-Калгутинского дайкового пояса (Южный Алтай). Структура этой главы аналогична структуре третьей главы. В ней коротко рассматриваются вопросы геологического строения, возраста и истории изучения этого объекта. Далее в главе приводятся минералогическая, петрографическая и геохимическая характеристика пород, слагающих дайки Восточно-Колгутинского пояса. Было установлено, что в составе этого пояса выделено три группы пород: 1. редкометальная группа, с относительно пониженными концентрациями редких щелочей, 2. ультраредкометальная группа, в которой содержания редких щелочей превышают 2500 ppm, и 3. промежуточная группа между редкометальными и ультраредкометальными породами, названная автором высоко редкометальными породами. В составе этих пород выделяются эльваны и онгониты. Было показано, что редкометальные эльваны и онгониты слагают отдельные дайки, а ультраредкометальные онгониты и высокоредкометальные эльваны приурочены к одному дайковому телу в центральной части пояса. Довольно подробно с точки зрения минералогии изучены все группы пород и установлены особенности, характеризующие каждую из этих групп. Полученные данные составляют вторую часть первого защищаемого положения.

Далее в этой главе приводятся результаты исследования расплавных и флюидных включений в минералах изученных пород, включающие изучение фазового состава негретых

включений, термометрические исследования с этими включениями и описание состава стекол гомогенизированных расплавных включений.

К этому разделу есть замечания.

1. При характеристике состава стекол гомогенизированных расплавных включений автор приводит измеренные с помощью ионного зонда содержания воды в расплавах, составляющие 0.9 – 3.5 мас. %. Однако диссертант отдает предпочтение оценке воды в расплавах, основанной на дефиците в сумме петрогенных компонентов, которая была выявлена при изучении стекол включений с помощью микрозондового анализа. На основании этого автор делает вывод о значительно более высоких концентрациях воды в расплавах, до 10 мас. %. Это выглядит странно, поскольку она пренебрегает высокоточными методами.
2. В этом же разделе (4.5.4) после описания состава стекол расплавных включений диссертант приходит к заключению о гетерогенности расплава в момент кристаллизации вкрапленников. Неясно, что понимает автор под термином «гетерогенность». Гетерогенность предполагает наличие фазовой границы между несмесимыми фазами. В данном случае речь, по-видимому, идет о неоднородности расплава.

В заключительной 5 главе приводится сравнительная характеристика условий формирования пород редкометальных дайковых поясов и рассматривается связь последних с оруденением. Здесь представлена интерпретация химических анализов расплавных включений, рассмотрена последовательность кристаллизации минералов из редкометальных расплавов. Большое внимание уделено вопросам неоднородности состава пород дайковых поясов. Обсуждаются РТ-параметры (температура и давление) кристаллизации вкрапленников этих пород. В заключении приводится модель формирования дайковых поясов.

К этой главе также есть замечания.

1. В разделе 5.2. «Последовательность кристаллизации минералов из редкометальных расплавов» автор приходит к выводу о том, что вкрапленники кварца в породах изученных дайковых поясов имеют интрателлурическую природу. А, согласно петрографическим наблюдениям диссертанта все породообразующие минералы (полевые шпаты, слюды) кристаллизуются совместно с кварцем и, следовательно, также имеют интрателлурическую природу. Возникает вопрос: какому же этапу формирования пород отвечают составы изученных расплавных включений? Если предположить, что вкрапленники пород кристаллизовались в глубинных магматических камерах, то, стало быть, уже на этом этапе существовали редкометальные онгонитовые расплавы, что маловероятно.

2. Кроме того, поскольку кристаллы кварца зональны, при описании включений совершенно необходимо указывать, к каким именно зонам роста приурочены изучаемые включения. Это важно для дальнейших рассуждений об условиях формирования пород дайковых поясов и о связи их с оруденением. Но этого в диссертации нет.

3. В разделе 5.4.2.2. «Влияние флюидно-магматического взаимодействия на химическую гетерогенность в составе Восточно-Калгутинского пояса» автор говорит о том, что неоднородность состава даек Восточно-Калгутинского пояса связана, как с кристаллизационной дифференциацией магмы, так и ее взаимодействием с водным флюидом. Этот вывод составляет часть второго защищаемого положения.

Для доказательства этого утверждения, автор проводит ряд расчетов, основанных на некоторых допущениях. Одно из них сводится к участию во взаимодействии с расплавом NaCl- раствора, который мог выделяться из расплава. Хотя в предыдущей главе, на основании исследования флюидных включений в минералах изученных пород, диссертантом сделан вывод о присутствии в них растворов, содержащих не только Na, но и K. При этом не учитывается фторидная специфика пород и расчет проводится на хлоридную систему. Кроме того, из-за недостаточно полного описания методики расчета возникает вопрос, почему флюид, выделяющийся из магмы и поэтому находящийся ней в химическом равновесии, может повлиять на изменение состава этого расплава?

Результаты таких расчетов имеют ограниченное применение и не могут являться достаточным основанием для каких-либо выводов об изменении состава расплава при взаимодействии с флюидом в данном конкретном случае.

4. Вызывает сомнение и заключение диссертанта о том, что изменение состава расплава происходит при дополнительном поступлении нереально большого количества флюида из внешнего источника. При этом вопрос о природе этого источника не рассматривается. Далее, автор на основании этого предположения утверждает, что ею доказана роль флюидно-магматического взаимодействия, которое является одним из факторов разнообразия редкометальных гранитоидов.

Однако замечания по работе не умаляют ее ценности. Отметим, что объекты для изучения крайне сложные, работа по их изучению проведена большая и детальная, существующие методы исследования использованы в полном объеме. Сделанные диссертантом выводы отражают содержание проделанной им работы. В заключении можно отметить, что автором внесен заметный вклад в решение проблемы генезиса редкометальных гранитоидов и их связи с оруденением.

Автореферат полностью отражает содержание работы, защищаемые положения представляются обоснованными. Представленная работа соответствует требованиям п. 9-14 Раздела II "Положения о присуждении ученых степеней" от 24.09.2013, а автор заслуживает присуждения ученой степени к.г.-м.н. по специальности 25.00.04 - петрология, вулканология.

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник

И.А. Андреева

Кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник

А.М. Козловский

Отзыв заслушан и утвержден на заседании петрографической секции Ученого Совета ИГЕМ РАН (лаборатория петрографии и лаборатория редкометального магматизма совместно с лабораторией геохимии и лабораторией изотопной геохимии и геохронологии) 24 апреля 2014 года (выписка из протокола прилагается).

