

**Отзыв официального оппонента на диссертационную работу  
Дмитриевой Анны Сергеевны на тему: «Процессы фторидно-силикатной  
несмесимости при образовании пород массива онгонитов Ары-Булак (Восточное  
Забайкалье)» на соискание степени учёной степени кандидата геолого-  
минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография.  
Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»**

Диссертационная работа Дмитриевой А.С. посвящена петрологическим исследованиям специфичных пород онгонитов, генезис которых является предметом дискуссии не одного поколения геологов. Существует несколько теорий происхождения онгонитовых расплавов, показывающих связь с плюмовыми процессами или механизмами глубокой дифференциации коровой редкометалльной гранитоидной магмы с постепенным обогащением фтором остаточного расплава и сосуществующего флюида. Актуальность и уникальность работы соискателя заключается в демонстрации значительного объема фактурных современных аналитических данных, раскрывающих минералогическо-геохимические особенности пород, а также механизмы и процессы, происходящие при формировании онгонитовых рудно-магматических систем, основываясь на результатах исследования прямых их свидетельств в виде включений минералообразующих сред.

У оппонента нет сомнения в достоверности полученных данных. Одной из сильных сторон работы необходимо отметить скрупулезную подачу материала и весьма прозрачный стиль его интерпретации. Защищаемые положения в работе в достаточной степени обоснованы и подтверждаются фактурными характеристиками, а их формулировка не вызывает вопросов по смысловому содержанию. Соискатель имеет ряд публикаций по теме исследования, изложенных в четырех статьях в журналах из списка ВАК (включая одну публикацию за первым авторством), а также ряд тезисов, на которых результаты исследований были апробированы. Цели и задачи диссертационной работы корректно сформулированы, и в полной степени достигнуты. Личный вклад соискателя значителен и покрывает все стадии процесса петрологического исследования, начиная от отбора каменного материала в поле и изучения геологии объекта, заканчивая аналитическими исследованиями и их интерпретацией. Ознакомившись с текстом диссертационной работы у рецензента имеется ряд вопросов и рекомендаций, которые будут изложены далее согласно структуре диссертационной работы.

Первая глава посвящена обзору состояния петрологической проблемы проявления и участия процессов жидкостной несмесимости при формировании различных типов рудно-магматических систем (щелочно-карбонатитовых комплексов, гранитов, пегматитов,

субэффузивных и эффузивных изверженных пород – онгонитов, эльванов, риолитов и др.). В разделе детально разобрана история изученности процессов несмесимости, а также физико-химических характеристик ее проявления, полученных по результатам исследований включений в минералах, а также согласно имеющимся экспериментальным данным. Порадовал исторический обзор изучения, особенно ссылки на работы предшественников XIX века [Zirkel, 1876], XX века [Philpotts, 1982] и вплоть до современного состояния проблемы. Особый акцент сделан на обзоре исследования процессов силикатно-фторидной или флюидно-силикатно-фторидной несмесимости. Таких работ немного, что подтверждает актуальность исследований соискателя. Не совсем понятным остался вопрос появления в онгонитовых системах концентрированного водного раствора (флюида?) PQ-типа? Это ортомагматический флюид или его производная? С чем связано появление именно PQ-флюида («растворимость солевых фаз в котором сначала снижается до критической точки раствора, а затем быстро возрастает при увеличении температуры») в данных системах и каков механизм его генерации?

Вторая глава диссертационной работы соискателя посвящена описанию геологической характеристики района исследуемого объекта, корреляции геологических данных с однотипными редкометалльными гранитными интрузиями Монголо-Охотской складчато-надвиговой системы и аналогичными комплексами Приморья и юго-восточного Китая. В главе имеется две геологические схемы исследуемого объекта: первая – оригинальная, составленная по данным предшественников [Коваленко, Коваленко, 1976], и вторая – уточненная, полученная автором и коллективом по результатам геологических исследований. Это важный результат, поскольку полученная геологическая схема учитывает современную типизацию пород массива Ары-Булак, данные бурения и геофизики (электроразведки) по разрезам скважин. Возможно в будущем, на этой схеме хотелось бы увидеть гидротермально-метасоматические и контактово-метасоматические образования, также как и рудную специфику в виде минерализованных участков и зон, характерных для гранитоидных массивов с редкометалльной характеристикой.

Материалы и методы исследования подробно изложены в третьей главе диссертационной работы. В действительности, количество методов впечатляет, поскольку комплексность подхода несомненно приводит к получению достоверных и многогранных петрологических данных. Исследования были выполнены на современных установках ведущих аналитических центров России в Иркутске (ИГХ СО РАН) и Новосибирске (ИГМ СО РАН), и включали в себя методы масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно связанной плазме, количественного спектрального анализа, сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной спектрометрии, метод лазерной абляции (LA-ICP-

MS), рентгеноспектрального электронно-зондового анализа, катодолюминесцентную съемку минералов, а также методы термо-криометрических исследований включений в минералах на различных усовершенствованных установках. Методы описаны достаточно подробно в работе. Есть уточняющий вопрос: какова сходимость данных по содержанию  $\text{SiO}_2$ , Ca и F (использованные в качестве внутреннего стандарта для расчетов концентраций элементов при LA-ICP-MS анализе), полученных методами СЭМ ЭДС и микрозондом?

Четвертая глава диссертационной работы Дмитриевой А.С. посвящена исследованиям минералого-геохимических особенностей онгонитов. Отдельно разобран вопрос классификации пород и показано различие в терминологии «онгонит» и «эльван». Согласно петрографическим исследованиям все породы были поделены на три разновидности: порфиновый онгониты, порфиновые породы переходного типа и афировые породы. В работе приведены данные по петрографии, минеральному составу и содержанию петрогенных и примесных элементов в породах. Показана специфика и особенности состава онгонитов и переходных разновидностей: порфиновые онгониты наиболее обогащены Li, V, Ni, Zn и Pb, а породы переходного типа характеризуются значительными вариациями концентраций примесных элементов (среди них встречаются разновидности максимально обогащенные REE, Y и U); при уменьшении кремнекислотности в ряду от порфиновых онгонитов к афировым породам наиболее закономерно увеличиваются концентрации Sr, Ba, Sn, Rb, W, Ta, Zr, Hf, Sc, Be, As и Sb и снижаются – Li, Pb, Zn. Эти данные вошли во второе защищаемое положение и на это надо было сделать акцент в тексте раздела данной главы. На мой взгляд, в тексте диссертационной работы не хватает дублирования и/или обоснования защищаемых положений, либо ссылок на них. Защищаемые положения были прописаны только во «Введении» и рецензенту приходилось постоянно к ним возвращаться по мере получения петрологической информации и соотносить фактурные данные с формулировками конкретных положений. У оппонента есть вопросы к разделу геохимии REE и Y: какими петрологическими процессами можно объяснить отрицательную европиевую аномалию в онгонитах, а также почему для афировых пород она становится менее выраженной? Для демонстрации процессов несмесимости и взаимодействия магматических флюидов на породы в главе использовались тетрад-эффекты нормированных спектров REE для пород. Можно ли считать переходные разности онгонитов и афировые породы, по представленным данным которые являются результатом воздействия ортомагматических флюидов на порфиновые онгониты, результатом преобразования первичных (порфиновых) онгонитов высокотемпературными метасоматическими и/или контактово-метасоматическими процессами? Генерация включений хлоридных рассолов в минералах могут быть

свидетелями этих процессов? Отдельный вопрос возник к вещественно-структурной и генетической характеристике Ca-F фазы, которая отличается от состава флюорита и содержит микропримесь элементов Al, Si, Na и Ba. Что, собственно, в вещественном плавне она собою представляет в исследуемых онгонитах и переходных разностях? Это минеральная фаза (агрегат) переменного состава или это солевое Ca-F «стекло»? Происходит ли ее изменение по составу и условиям генерации при переходе от порфировых к афировым породам? Это очень интересное наблюдение и значительно важный петрологический результат, требующий доизучения. В качестве рекомендаций на дальнейшие исследования, необходимо провести Рамановский и/или рентгено-структурный анализ данной фазы (включая площадное картирование в различных проекциях при КР-спектроскопии). Детальная минералогическая характеристика пород в четвертой главе также вошла в защищаемые положения.

Глава пятая посвящена исследованиям расплавных и флюидных включений в минералах всех разновидностей пород. В разделе достаточно подробно описываются особенности типизации включений, разделения их по генерациям на первичные и вторичные (включая данные катодолюминесценции минералов с включениями). Уделяется внимание процессам герметичности системы и взаимодействию вещества включений с минералом-хозяином при нагреве, а также подробно описаны сами эксперименты по термокриометрии включений, включая РТ-параметры и выдержку. Включения были изучены в кварце и топазе. У оппонента нет сомнения в достоверности полученных данных, а также к их представительности. Есть вопросы к данным по флюидным включениям: как петрологически можно проинтерпретировать сонахождение двух различных по составу и концентрации флюидов PQ-типа ( $\text{NaF-H}_2\text{O}$ ) и хлоридных рассолов, гомогенизирующихся в диапазоне порядка  $550-650^\circ\text{C}$ ? За какие минералообразующие процессы (стадии) отвечают данные флюиды? В качестве дальнейших исследований рекомендую провести Рамановскую спектрометрию дочерних фаз и газовой фазы флюидных и расплавных включений в минералах (тем более размеры включений это предполагают). Результаты исследования расплавных и флюидных включений лежат в основе первого защищаемого положения (которое сформулировано во введении текста).

Шестая глава посвящена интерпретации полученных физико-химических параметров при изучении включений в минералах онгонитов. В ней показаны состав и свойства онгонитового и фторидных расплавов, а также охарактеризованы процессы формирования пород массива Ары-Булак. Соискатель для характеристики использует внушительный объем химических анализов состава силикатных стекол в гомогенизированных и природно-закаленных расплавных включениях, а также составы F-Ca и солевых глобул в расплавных

включениях после их вскрытия в зернах минерала-хозяина (кварца и топаза) методами СЭМ ЭДС и микрозондового анализа. Также концентрации Y и REE в стёклах наиболее крупных включений и во F-Ca глобулах определены методом лазерной абляции. В работе приведено сравнение валового состава пород и фаз в расплавных включениях, необходимое для характеристики процессов кристаллизации пород в исследуемой рудно-магматической системе, а также рассчитаны реологические свойства (в частности, вязкость) онгонитового расплава (что также вошло в защищаемые положения); проведено сравнение полученных РТХ-параметров с данными предшествующих исследований пород массива.

Важным моментом является сравнение полученных петрологических данных с исследованиями флюоритовых пород Центральной Монголии. В частности, обоснование присутствия как минимум двух генераций F-Ca фазы и фиксация процессов силикатно-фторидной несмесимости по расплавным включениям во флюоритовых риолитах Монголии. По итогам сравнительного анализа выявлено, что при формировании пород массива Ары-Булак в субэффузивных условиях и флюоритовых риолитов Монголии при кристаллизации гранитоидного обогащенного фтором расплава, в магматических системах происходили явления флюидно-фторидно-силикатной жидкостной несмесимости с участием флюоритового расплава. Это важный момент, характеризующий специфику процесса формирования рудоносных (фтор-редкометалльных) интрузий. И сама по себе флюоритовая фракция (содержащая Y и REE) является петрологическим фактором рудогенеза. В продолжении исследований хотелось бы видеть характеристику процессов минерало- и рудообразования на гидротермально-метасоматическом этапе преобразования рудно-магматической системы.

В заключении работы соискатель выстраивает вполне логичную петрогенетическую модель формирования пород массива Ары-Булак, используя полученные петрологические данные и коррелируя с данными по породам Центральной Монголии; приводит обобщение основных результатов исследований.

В целом, все вопросы и замечания оппонента к диссертационной работе носят рекомендательно-пояснительный характер, а полученные результаты петрологического исследования в достаточной степени обоснованы и подтверждены в защищаемых положениях. Оппонент высоко оценивает работу Дмитриевой А.С..

Содержание диссертации «Процессы фторидно-силикатной несмесимости при образовании пород массива онгонитов Ары-Булак (Восточное Забайкалье)» отвечает требованиям, установленным к кандидатским диссертациям и соответствует критериям, определенным в пп. 9-11, 13 и 14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «Положение о присуждении ученых степеней». Соискатель

Дмитриева Анна Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых.

**Официальный оппонент**

Прокопьев Илья Романович

Кандидат геолого-минералогических наук

Старший научный сотрудник лаборатории

Рудоносности щелочного магматизма

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева

Сибирского отделения

Российской Академии наук (ИГМ СО РАН)

Проспект Академика Коптюга, д. 3, Новосибирск 630090

Тел. +7(383)373-05-26 (доб.719)

e-mail: [prokop@igm.nsc.ru](mailto:prokop@igm.nsc.ru)

Прокопьев Илья Романович



Я, Прокопьев Илья Романович, даю согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

3 июня 2024 г.



**ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ**

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

**ПРОИЗВОДИТЕЛЬ**

**БУРКО**

**К.В.**

**03/06 2024**

**2024**