



"УТВЕРЖДАЮ"

Врио директора ДВГИ ДВО РАН

к.т.-м.н. А.В. Гребенников

*А.В. Гребенников*  
"24 мая 2024" г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Дмитриевой Анны Сергеевны

«Процессы фторидно-силикатной несмесимости при образовании пород массива онгонитов Ары-Булак (Восточное Забайкалье)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа А.С. Дмитриевой посвящена исследованию процессов фторидно-силикатной жидкостной несмесимости при формировании пород массива Ары-Булак и характеристике гетерогенного состояния онгонитовой магмы.

Работа включает список сокращений, условных обозначений и терминов, введение, шесть глав, заключение и список цитированной литературы из 288 источников, в работе присутствуют три приложения.

**Во введение** стандартно изложен весь круг вопросов организации диссертации, показана ее актуальность и значимость, раскрыты цели и задачи исследования, отмечен личный вклад автора в эту работу. Отмечено авторское видение научной и практической значимости работы, сформулированы защищаемые положения и показан уровень апробации результатов исследований.

### **Актуальность и значимость работы**

Актуальность работы определяется возрастающим интересом к изучению явлений жидкостной несмесимости в расплавах с целью выяснения ее природы и процессов гетерогенизации, определяющих продуктивность рудно-магматических систем. Силикатно-фторидная несмесимость, которой посвящена работа, является ключевой проблемой в определении специфики рудоносности редкометалльных рудных узлов с участием онгонитов. Ары-Булакский онгонитовый массив является уникальным проявлением ультраредкометалльного магматизма с аномально высокой концентрацией фтора.

*Изучение явлений жидкостной несмесимости в флюидно-магматической системе массива Ары-Булак, выполненное на актуальном современном уровне изучения реликтов эволюционирующей минералообразующей среды в виде расплавных и флюидных включений в минералах, много шире заявленной темы. Оно выступает предметной петрологической основой для выяснения природы месторождений флюорита, ассоциированных с Li-F гранитоидами, в том числе и уникальных месторождений типа Вознесенского.*

#### **Объекты исследования.**

#### **Цель работы.**

Исследование процессов фторидно-силикатной жидкостной несмесимости при формировании пород массива Ары-Булак, получение доказательств гетерогенного состояния онгонитовой магмы на основе изучения минерально-фазовых ассоциаций пород и фторидно-силикатных сред (расплавов, флюидов) во включениях, захваченных минералами.

#### **Фактический материал, вклад автора и научная новизна**

В основу исследований автора легла коллекция каменного материала, отобранного на массиве Ары-Булак И.С. Перетяжко и Е.А. Савиной в 2007-2010 гг.. Каменный материал по флюоритоносным риолитам Монголии отбирался при непосредственном участии автора в 2015 г.

Непосредственно автором обработаны образцы пород и проведена пробоподготовка. Описаны шлифы, изучен минерально-фазовый состав и геохимия пород, выполнена термокриометрия включений минералообразующих сред. Обработаны и интерпретированы данные изучения пород и включений, СЭМ ЭДС анализы минералов и фаз. Расчитаны кристаллохимические формулы минералов, проведена оценка вязкости и плотности онгонитового расплава.

Выполненные в комплексе с традиционным петрологическим и геохимическим изучением породного комплекса массива Ары-Булак исследования включений в минералах позволили получить новые данные о  $P$ - $T$  параметрах, составе флюидов и расплавов, изучить явления несмесимости в онгонитовой магме, а также фундаментально дополнить полученные ранее данные об условиях образования и эволюции высокофтористого кислого силикатного расплава.

#### **Защищаемые положения, апробация работы**

Защищаемые положения представлены в работе в виде преамбулы:

1. *В онгонитовой магме при  $T > 730^{\circ}\text{C}$  происходили явления фторидно-силикатной жидкостной несмесимости с участием F-Ca (флюоритового) расплава, который находился в подвижном состоянии до стадии формирования матрикса афировых и порфировых пород массива. Кристаллический агрегат расплавных включений в минералах плавился в интервале от  $430-470^{\circ}\text{C}$  до  $700-730^{\circ}\text{C}$  с образованием*

обогащенного F и H<sub>2</sub>O онгонитового расплава, имеющего низкую вязкость ( $1.1-4.2 \times 10^3 \text{ Па}\cdot\text{с}$  при 700°C).

2. Следствием фторидно-силикатно-флюидной жидкостной несмесимости было перераспределение элементов-примесей между сосуществующими расплавами (силикатным, фторидными), минералами (кристаллами) и флюидами первого и P-Q типов. Породы переходного типа обогащены REE, Y и U. Эндоконтактовая афировая зона по сравнению с порфировыми онгонитами содержит больше H<sub>2</sub>O, Sr, Ba, Rb, Sn, As, Sb, W, Ta, Zr, Hf, Be, Sc, но меньше Li, Pb, Zn, U, Y, REE.
3. Флюидно-магматические процессы определяют контрастную смену минерально-фазовых ассоциаций. Породы переходного типа содержат F-Ca фазу (реликт флюоритового расплава), монацит-(Ce), флюоцерит-(Ce), ксенотим. Воздействие магматических флюидов на породы афировой зоны привело к кристаллизации прозопита, водных кальциевых алюмофторидов, касситерита, вольфрамита и Rb-Cs ди-триоктаэдрической Li-Fe слюды. Альбит замещался на каолинит и F-Ca фазу, из которой в дальнейшем образовался флюорит.

Результаты исследований в полном объеме опубликованы в открытой печати и представлялись на 6 всероссийских конференциях. По теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 4 статьи в журналах, индексируемых WoS, Scopus и рекомендованных ВАК – European Journal of Mineralogy, Петрология, Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.

Автореферат соответствует диссертационной работе и в полном объеме отвечает ее содержанию.

### **Содержательная часть работы.**

**Глава 1 «Фторидно-силикатная несмесимость и включения минералообразующих сред: состояние проблемы»** представляет собой обзор современных представлений о силикатно-фторидных, силикатно-карбонатных, силикатно-фосфатных явлениях жидкостной несмесимости в моделях формирования изверженных пород и в экспериментальных системах. В данной главе автор демонстрирует высокую эрудированность в вопросах силикатно-фторидной жидкостной несмесимости, характерной для литий-фтористых гранитоидов.

**Глава 2 «Характеристика объекта исследований»** приводятся представления о возникновении онгонитов. По данным автора, наиболее распространены представления о формировании онгонитов в процессе масштабной дифференциации в глубинных очагах значительного объема редкометалльных гранитных расплавов. В качестве альтернативы приводятся представления о генетической связи онгонитов с зонами влияния мантийных плюмов, где перемещенные на верхнекоровый уровень, обогащенные фтором и редкоземельными элементами мантийно-коровые расплавы, формируют в процессе дифференциации исходные для онгонитов магмы. Последующая характеристика тектонической и структурной позиции массива Ары-Булак конспективна и декларативна. Отсутствует геологическая и геодинамическая характеристика Агинского террейна. Принадлежность изученных онгонитов к позднеюрскому кукульбейскому комплексу

лейкогранитов и Li-F гранитов описана не предметно. Утверждение, что «Геохимические данные дают основание относить эти породы к этапу посторогенного развития с сохранением черт, присущих коллизионному режиму» (стр.23), декларативно и не имеет аргументации. За рамками какого-либо анализа находится утверждение о доминировании процессов магматизма с субдукцией. Не конкретизирована информация о принадлежности изученных онгонитов к широко известной шерловогорской рудно-магматической системе. Описание геологического строения массива выполнено с текстовыми и графическими погрешностями (в части описания морфологии тела, несовпадения границ чехла рыхлых пород в плане и разрезах (рис. 2.3) и терминологии в подрисуночной подписи). При этом отметим, что при погрешностях характеристика зонального строения интрузии не потеряла своей предметности и содержательности.

**Глава 3 «Материалы и методы исследования»** раскрывает специфику использованных минералого-геохимических и аналитических методов изучения пород и минералов. Охарактеризовано оборудование для термокриометрических опытов и термобарогеохимических исследований. Автор подробно описывает методы, условия съемки и эталоны. Особое внимание автором уделено термобарогеохимии: с большой детальностью описаны методические приемы исследования расплавных и флюидных включений в минералах.

**Глава 4 «Минералого-геохимические особенности пород»** посвящена характеристике афировых пород, порфириковых пород переходного типа и порфириковых онгонитов массива Ары-Булак. В данной главе дана общая характеристика эльванов и онгонитов. Автор как и В.И. Коваленко и Н.И. Коваленко относит к онгонитам породы, содержащие вкрапленники калиевых полевых шпатов (микроклина, ортоклаза, санидина), альбита и кварца, а также второстепенные минералы – топаз и Li-Fe слюду (циннвальдит).

Приведены результаты детального изучения геохимического состава пород, особенностей распределения в них примесных элементов, редких земель и Y. На TAS диаграмме порфириковые онгониты находятся в поле риолитов нормальной и умеренно-щелочной серии, в то время как переходные и афировые разности занимают поля от риолитов до базальтов нормальной и умеренной щелочности. В ряду от афировых пород к переходным и онгонитам отчетливо выражено обогащение первых кальцием, стронцием, фтором, водой и рудными элементами по отношению к онгонитам, при средних значениям в переходных разностях.

Наблюдаются линейные зависимости между концентрациями CaO, F и SiO<sub>2</sub> для пород массива. В породах фиксируются повышенные содержания крупноионных литофильных элементов, некоторых высокозарядных, а также Ga и Sn относительно кларковых содержаний. Концентрация Cs превышает кларк в 20-32 раза, Li – в 5-15 раз, Rb – в 12-18 раз. В то же время содержания Sr (за исключением афировых разностей), Ba и элементов группы железа резко понижены. Вариации большинства примесных элементов в породах разного типа незначительны. Наиболее широкие диапазоны содержаний характерны для Rb, Li и Sr. Породы массива имеют низкую сумму REE и Y. Максимальные средние значения  $\Sigma$ REE и Y характерны для пород переходного типа, а минимальные – для афировых. Все породы обогащены LREE относительно HREE. В

спектрах REE наблюдается более крутой наклон LREE относительно HREE и отрицательная аномалия европия. Все геохимические данные и минералогические описания сопровождаются классификационными, спайдер-диаграммами и микрофотографиями.

В другой части главы охарактеризован минерально-фазовый состав пород. Приведенные результаты минералого-геохимических особенностей пород, формирующих массив Ары-Булак, легли в основу третьего защищаемого положения.

Однако собственно в главе предметное обобщение полученных данных отсутствует.

**Глава 5 «Включения минералообразующих сред»** посвящена характеристике флюидных и расплавных включений и их исследованиям. Эта фундаментальная, самая сильная часть работы, составляющая ее своеобразную визитную карточку. В главе дается детальная характеристика всех обнаруженных включений в породах массива Ары-Булак. Показано, что размеры, морфология флюидных и расплавных включений, соотношение дочерних кристаллических фаз в них разнообразны. Глава хорошо иллюстрирована, насыщена обильным новым материалом. Для исследования включений выбраны кристаллы кварца, которые встречается во всех породах массива Ары-Булак и топаза, который присутствует в породах переходного типа и онгонитах.

Среди флюидных включений автор выделяет по фазовому составу два типа - существенно-газовые и включения рассолов. Автор указывает, что рассолы встречаются в кварце из переходных и афировых пород, но нет данных о распространении газовых включений. Отмечено, что последние часто содержат дочернюю фазу виллиомит, однако метод определения не указан. При криометрических исследованиях автором не удалось установить наличие во включениях  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Вряд ли это корректно определено при отсутствии данных КР-спектроскопии. По результатам изучения включений первого типа установлено, что включения содержат водный раствор с плотностью 0.05-0.32 г/см<sup>3</sup>, близкий по составу к системе P-Q типа  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaF}$ . Автор делает вывод, что кристаллизация онгонитовой магмы происходила в диапазоне от 1250 до 300 бар и 750-600 °С.

Среди расплавных включений автор выделяет пять типов. Наиболее распространенными являются однофазные стекловатые включения и включения, заполненные кристаллическим агрегатом силикатных минералов (тип 1); двухфазные со стеклом и одним либо несколькими пузырями (тип 2) и многофазные с кристаллическими фазами, стеклом и пузырьком (тип 3). Особое внимание в работе автором уделено многофазным включениям с F-Са глобулами (флюоритом) в силикатном стекле ± пузырьком и редкими кристаллическими фазами (тип 4). Многофазные со стеклом и многочисленными обособлениями (глобулами) солевых, часто фторидных, кристаллических фаз ± пузырьком включения отнесены к типу 5. Показан сложный процесс изменения P-T условий пород массива Ары-Булак. Среди кристаллических фаз в силикатных расплавах методом СЭМ ЭДС установлены альбит, санидин и слюда, состав которых близок к породообразующим минералам. Минимальная температура гомогенизации принята по температуре плавления фаз и соответствует 700-730°С.

Данные термометрии РВ служат предметным обоснованием первого защищаемого положения, выступая свидетельством, что явления фторидно-силикатно-солевой несмесимости происходили в онгонитовом расплаве до начала его кристаллизации (в надликвидусных условиях, в температурном интервале  $> 730$  °С).

В Главе 6 «*Состав и свойства онгонитового и фторидных расплавов, процессы образования пород массива*» приведен оригинальный материал о составе силикатных стекол, F-Са и солевых глобул и проведено сравнение с валовым составом пород. Существенные различия в валовом составе и составе изученных включений зафиксированы только в отношении содержания воды в полной выборке пород массива Ары-Булак и для фтора – в порфирированных онгонитах. На основании полученных в главе 6 данных сформулировано второе защищаемое положение, как указание, что следствием фторидно-силикатно-флюидной жидкостной несмесимости выступает перераспределение элементов-примесей между сосуществующими силикатными и фторидными расплавами, минералами и флюидами.

Отметим, как досадный недостаток, что при высоком уровне исследований и их детальности в ряде приводимых автором таблиц и приложениях отсутствует привязка образцов к фациям изучаемых пород массива Ары-Булак.

Здесь же приведен свод справочно-аналитических данных по вязкости магматических расплавов. В комплексе этих данных, на основе термометрических опытов с силикатными РВ автором выполнен расчет реологических свойств онгонитового расплава в обосновании первого защищаемого положения. В разделе 6.4. проводится литературный обзор фиксированных условий кристаллизации онгонитового расплава. Разделы 6.5. и 6.6. посвящены сравнительной характеристике петрохимических особенностей пород массива Ары-Булак и редкометалльно-фтористых риолитов Нилгинской депрессии (Центральная Монголия). По итогам сравнительного анализа автор вполне обоснованно полагает, что при формировании пород массива Ары-Булак в субэффузивных условиях и извержениях флюоритовых риолитов Монголии происходили однотипные явления фторидно-силикатной жидкостной несмесимости с участием F-Са (флюоритового) расплава.

В обсуждении процесса образования пород массива онгонитов Ары-Булак показано, что перераспределение REE и Y между расплавами, флюидами, минералами было проявлено как автометасоматические преобразования под воздействием флюидов. Появление в породных спектрах REE тетрад-эффектов объясняется перераспределением лантаноидов между несмесимыми расплавами при воздействии на породы флюидов, интенсивно выделяющихся при дегазации расплава в центральной части магматической камеры.

Ориентируясь на известные эксперименты, автор подчеркивает, что при установленных температурах ликвидуса онгонитового расплава в диапазоне 700-730 °С, в субсолидусном интервале кристаллизации в интервале 600-550 °С, концентрация фтора в онгонитовом расплаве могла достигать аномально высоких значений – 8-10 мас.%, при содержаниях воды 10-15 мас.%.

**Заключение** содержит указания на результаты и основные выводы автора, резюмирующие его построения в предыдущих главах.

Как итог, автором подтверждается, что геохимические и минерально-фазовые особенности пород, эволюция составов минералов и F-Ca фазы являются следствием формирования массива Ары-Булак в ходе единого флюидно-магматического процесса, осложненного фторидно-силикатной жидкостной несмесимостью с участием флюоритового, фторидного, солевого расплава и магматических флюидов.

### Выводы

Сделанные замечания не уменьшают значимость полученных автором научных результатов. Работа написана литературным языком, качественно иллюстрирована, хорошо оформлена. Сущность работы достаточно полно отражена в автореферате, текст которого соответствует диссертации. Работу следует рассматривать как законченное научное исследование, выполненное на высоком современном аналитическом уровне.

Основные положения диссертации отражены в публикациях и неоднократно представлялись на конференциях и совещаниях.

Работа А.С. Дмитриевой соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых. Ее автор А.С. Дмитриева заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Составители отзыва:

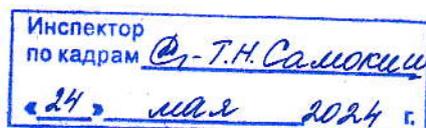
Ведущий научный сотрудник лаборатории  
рудно-магматических систем ДВО РАН, д.г.-м.н.

В.В. Раткин

Старший научный сотрудник лаборатории  
рудно-магматических систем ДВО РАН, к.г.-м.н.

О.А. Елисеєва

Отзыв заслушан и утвержден 24 мая 2024 г. на заседании лаборатории рудно-магматических систем ДВГИ ДВО РАН (протокол №1 от 24 мая 2024 г.).



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022, Приморский край, город Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, дом 159, тел.: +7 (423) 231-87-50, e-mail: office@fegi.ru