

Отзыв официального оппонента на диссертацию

Рединой Анны Андреевны на тему: «Условия формирования флюоритовой минерализации карбонатитов Западного Забайкалья (Аршан, Южное и Улан-Удэнское) и Южной Монголии (Мушугай-Худук)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 - Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

В диссертации Рединой Анны Андреевны представлены результаты геохимических и геохронологических исследований флюорит-содержащих пород щелочно-карбонатитовых комплексов мезозойского возраста, расположенных в Западном Забайкалье (Аршан, Южное и Улан-Удэнское) и Южной Монголии (Мушугай-Худук), которые перспективны на фтор-редкоземельные руды. Недостаточная изученность современными методами флюорит-содержащих пород этих комплексов, определила цель работы как выявление генетической связи флюоритовой минерализации с карбонатитовым магматизмом Центрально-Азиатской провинции на основе комплексных минералого-геохимических исследований. В задачи работы входило геологическое описание исследуемых объектов, петрологическая характеристика флюорит-содержащих пород, изучение микроэлементного состава флюорита и состава включений в нем, определение физико-химических параметров минералообразующего флюида, геолого-геохронологическое районирование выбранных объектов по литературным данным и результатам датирования минералов гр. бастнезита (U-Th-Pb система), характеристика источника вещества для формирования поздних карбонатитов по изотопным данным (Nd система).

Каменный материал, на котором основана диссертация представлен образцами флюорит-содержащих пород и выделенными из них флюоритом и минералами гр. бастнезита, является достаточно представительным для проведения сравнительной характеристики четырех комплексов, сформировавшихся в пределах единого этапа активизации щелочного и карбонатитового магматизма Центральной Азии. Работа выполнялась на образцах из коллекций институтов ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) и ГИН СО РАН (г. Иркутск). Для изучения петрографических особенностей пород и анализа минералов, в работе применялись оптическая, растровая и катодолюминесцентная микроскопия. Изучение флюидных включений и термометрические определения проводились на 50 препаратах флюорита из пород всех комплексов, состав фаз во включениях определялся с использованием КР-спектроскопии. Большое количество анализов (более 140) микроэлементного состава флюорита, включая Y, полный спектр

редких земель, Sr, Nb, Ta и Zr из 4 изученных комплексов, выполнено современным локальным методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (LA-ICP-MS). На представительном материале в Nd и U-Th-Pb системах методом LA-ICP-MS изучена изотопия минералов гр. бастнезита из флюорит-содержащих карбонатитов комплекса Южный (18 анализов) и бастнезит-флюоритовых пород комплекса Улан-Удэнского (16 анализов). LA-ICP-MS исследование минералов, выполненное в двух независимых лабораториях мирового уровня - Новосибирском государственном университете и Немецком исследовательском центре геологии Потсдама, показало хорошую воспроизводимость. Полученные данные достоверны и сопоставимы с опубликованными ранее для позднемезозойских щелочно-карбонатитовых комплексов Западного Забайкалья.

Рединой А.А. показано, что флюорит из щелочно-карбонатных комплексов Западного Забайкалья и Южной Монголии отличается повышенной концентрацией редкоземельных элементов и ассоциирует с минералами-концентраторами этих элементов – монацитом, апатитом, минералами гр. бастнезита и др. Изучение физико-химических условий образования таких парагенезисов, ранее проводилось фрагментарно. Вмещающие фтор-редкоземельную минерализацию породы, сформировались в условиях внутриплитного рифтогенеза и характерны для калиевых щелочных магматических систем Центрально-Азиатской провинции. Привлечение современных геохимических методов для получения новых прецизионных данных с целью определения генезиса пород с рудной фтор-редкоземельной минерализацией, является актуальным в научном и практическом плане. Полученные новые геохимические, в том числе геохронологические данные позволили диссертанту выделить геохимические критерии для прогноза и поиска флюоритовых месторождений.

Научная новизна работы А.А. Рединой обусловлена выбранными интересными геологическими объектами с фтор-редкоземельным оруденением, а также детальными исследованиями флюорита и минералов гр. бастнезита современными локальными методами. Впервые по изотопным U-Th-Pb и Nd данным было показано, что флюорит-редкоземельная минерализация Западно-Забайкальских (Аршан, Южное, Улан-Удэнское) и Южно-Монгольского (Мушугай-Худук) проявлений генетически связана с внутриплитным карбонатитовым магматизмом рифтогенной зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса и сформировалась в близкое время ~136-126 млн лет, а первичные расплавы для флюорит-содержащих пород образовались при участии метасоматизированной литосферной мантии. На основе петролого-геохимических данных показано, что индикаторными факторами для определения когенетичности флюорит-

содержащих пород с карбонатитами являются присутствие в парагенезисах с флюоритом карбонатов, апатита и флогопита, преобладание в составе флюорита легких редких земель и отсутствие выраженной европиевой аномалии в спектре распределения редких земель. Комплексное изучение флюидных включений во флюорите позволило диссертанту впервые показать, что кристаллизация его и сосуществующих с ним редкоземельных фаз начиналась на позднемагматическом этапе формирования щелочно-карбонатитовых комплексов из сульфатно-карбонатно-фтористых высокотемпературных (490-560 °С) рассол-расплавов, а завершалась на гидротермальном этапе из концентрированных карбонатно-сульфатно-хлоридно-фтористых среднетемпературных (350-450 °С) флюидных растворов.

Полученный диссертантом большой объем новых геохимических данных, опубликован в 21 научной работе, включая 9 статей в рецензируемых высокорейтинговых журналах, рекомендуемых ВАК, а также был представлен в виде докладов на 4х международных конференциях.

Геохимические, петрологические и минералогические исследования выполнены на высоком уровне, а результаты являются достаточными для выдвижения трех защищаемых положений, обоснованность которых не вызывает сомнений.

Диссертация написана хорошим научным языком, состоит из 122 страниц: включает введение, 5 глав, заключение, 36 рисунков и 13 таблиц, размещенных в главах. Список литературы насчитывает 169 наименований.

Введение полностью отражает направление работы, ее актуальность, фактический материал, цель и задачи, новизну полученных результатов и сформулированные защищаемые положения.

В первой главе рассмотрено состояние проблемы исследования флюоритовых месторождений, связанных с щелочным и карбонатитовым магматизмом. Кратко приведены терминологические и классификационные понятия, используемые для характеристики карбонатитового магматизма, показаны основные гипотезы генезиса карбонатитов. На основе обобщения литературных данных по геологии, петрологии и геохимии щелочно-карбонатитовых комплексов Позднемезозойской карбонатитовой провинции, развитой в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса, показаны связь карбонатитов с калиевым щелочным магматизмом и их высокий потенциал на Sr, Fe, REE и F, представлен литературный обзор по изучению физико-химических условий формирования щелочных пород этого региона.

В главе 2 приведено подробное структурно-геологическое описание региона и комплексов с рудной флюоритовой минерализацией, обоснован выбор конкретных

объектов исследования. Показана связь интрузивных щелочных комплексов, располагающихся в складчатых областях, с рифтогенезом и вулканической активностью, которая была зафиксирована в мезозое на территории Центрально-Азиатского складчатого пояса. Кратко представлены геология и возраст изученных комплексов - Аршан, Южное и Улан-Удэнское и Мушугай-Худук, петрографическое описание состава карбонатитов, сопряженных с ними апатит-содержащих пород магматического генезиса и постмагматических образований с редкоземельно-флюоритовой минерализацией.

Третья глава является одной из основных в диссертации и посвящена выявлению геохимических особенностей примесного состава флюорита из разных типов минерализации каждого комплекса. Помимо авторских данных, для проведения сопоставлений и выводов, использовался обширный литературный материал по составу флюорита из карбонатитовых проявлений Мира, связанных со щелочным магматизмом. По содержанию редких земель и высокочarged элементов автору удалось разделить разновидности минерала на группы, а с использованием дискриминационной диаграммы Tb/Ca от Tb/La, разделить их по генетическому признаку и конкретному минералообразующему процессу на позднемагматические или гидротермальные. Результаты показаны в сравнении с большим числом примеров, описывающих вариативность распределения микроэлементов во флюорите из разных типов пород, и близкое распределение внутри группы каждого конкретного парагенезиса – магматического или постмагматического. Все это в итоге позволило диссертанту сформулировать геохимический критерий выделения продуктивных на фтор и редкие земли карбонатитов, показать их сходство с крупными редкоземельными карбонатитовыми месторождениями мира.

В четвертой главе представлены результаты изучения физико-химических условий формирования флюоритовой и связанной с ней редкоземельной минерализацией. При изучении фазового состава флюидных включений во флюорите и фазовых переходов в них, были выделены три типа включений: газовой-жидкие двухфазные, многофазные с газовой, жидкой и твердой фазами, многофазные из преимущественно твердых фаз. Включения были детально описаны, проиллюстрированы оптическими фотографиями и идентифицированы по рамановским спектрам. Это позволило автору выявить характерные особенности распределения и степень распространенности полифазных включений во флюорите из разных типов пород, а в совокупности с проведенными термометрическими измерениями доказать второе защищаемое положение о составе и температурном режиме флюидных растворов для двух генетических типов флюоритовой минерализации – позднемагматической и гидротермальной.

Важными фундаментальными результатами, представленными в пятой главе, являются геохронологическое определение возраста формирования флюорит-редкоземельной минерализации двух комплексов Южное и Улан-Удэнское, проведенное при изучении изотопного состава в U-Th-Pb системе минералов гр. бастнезита, и определение источника вещества карбонатитов этих проявлений по изотопному Nd-методу. Полученные оценки возраста - 130 млн. лет для поздней минерализации проявления Южное показали хорошую сходимость с возрастом, полученным ранее для сиенитов этого комплекса и близки к оценкам, установленным для флюорит-редкоземельной минерализации проявления Улан-Удэнское - 137 млн. лет. Изучение изотопного состава Nd в минералах гр. бастнезита показало, что он сопоставим с составом, полученным для пород щелочно-карбонатитовых позднемезозойских комплексов Западного Забайкалья. Эти данные в совокупности с литературными обобщениями убедительно показали синхронное формирование флюоритовых месторождений с щелочно-карбонатитовыми магматическими комплексами Центрально-Азиатского складчатого пояса, а также их связь с крупномасштабными позднемезозойскими тектоническими явлениями, зафиксированными на этой территории.

В заключении представлены выводы, полученные в ходе работы. Показано что формирование щелочно-карбонатитовых комплексов в краевых частях континентальных рифтовых систем, присутствие минералов карбонатитовых ассоциаций во флюорит-содержащих породах, развитие минеральных ассоциаций от постмагматической к гидротермальной стадиям, обогащение флюорита легкими РЗЭ ($(La/Yb)_n > 40$) и слабовыраженной европиевой аномалией в спектрах распределения редкоземельных элементах, могут использоваться в качестве индикаторов для выявления фтор-редкоземельных месторождений в щелочно-карбонатитовых комплексах.

В качестве рекомендаций и замечаний к диссертационной работе можно отметить:

1 Приведенное во введении описание методов и методик желательно было бы вынести в отдельную главу, где дополнительно указать конкретные параметры анализов - температурные и временные интервалы, эталоны сравнения, нижние границы определяемых содержаний элементов и т.д. Во введении достаточно кратко перечислить используемые методы, количество изученных образцов, полученных анализов по каждому объекту.

2 При описании минералов, прежде чем переходить к микроэлементному или изотопному составам, хорошо бы показать вариативность их формульного состава, хотя бы со ссылками на литературные данные.

3 Полученные выводы по фтор-редкоземельному оруденению щелочно-карбонатных комплексов крупной провинции были бы полнее, если бы автор добавил в Главу 1 данные по геохимии изученных пород.

4 Используемые сокращения желательно приводить в едином формате или на русском, или на английском языках, полностью отобразить их в соответствующем разделе, в котором, например, не показаны сокращения минералов. В этом случае для одного и того же минерала сокращения были бы одинаковые (см. подписи к рисункам и на фотографиях).

5 В формулировках научной новизны не хватает конкретных данных названия объекта, по которому они были получены. В более правильном виде они показаны в главе «Заключение». В защищаемых положениях желательно также указывать название пород, исследуемого объекта и регион.

6 При описании фактического материала, использованного автором в работе не акцентировано внимание на личном вкладе диссертанта.

7 В Главе 3 при формулировании выводов о стабильности редкоземельных комплексов во флюорите из пород массива Мушугай-Худук со ссылкой на лит источник [Xu et.al., 2012] допущена опечатка или ошибка, тк в статье обсуждаются не YF^+ и $REEF^+$, а YF^{2+} и $REEF^{2+}$ комплексы.

8 При описании флюорита желательно либо ограничиваться только указанием цвета, либо добавить рассуждения и литературные данные о связи окраски минерала от примесного состава или дефектов кристаллической решетки, стоит придерживаться унифицированной схемы описания минерала, в этом случае фрагмент о темном окрашивании флюорита выглядел бы логичнее.

Указанные замечания являются скорее рекомендательными и не влияют на значимость представленного материала.

В целом диссертация Рединой А.А. представляет собой единую завершенную научную работу, а содержание автореферата отражает ее основные идеи и выводы. Приведенный литературный обзор, а также оригинальный фактический материал и высокий уровень полученных результатов, представленных в главах 2-5, позволили диссертанту поставить и обосновать цели, задачи и доказать все три защищаемых положения. Полученные новые геохимические данные имеют фундаментальное значение для развития геологических наук, а предложенные геохимические критерии прогноза и поиска фтор-редкоземельных месторождений для развития сырьевой базы страны.

Содержание диссертации «Условия формирования флюоритовой минерализации карбонатитов Западного Забайкалья (Аршан, Южное и Улан-Удэнское) и Южной

Монголии (Мушугай-Худук)» отвечает требованиям, установленным к кандидатским диссертациям и соответствует критериям, определенным в п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного приказом постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013. Соискатель Редина Анна Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 - Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Официальный оппонент

Сорохтина Наталья Владиславовна

кандидат геол.-мин. наук

старший научный сотрудник лаборатории

геохимии и рудоносности щелочного магматизма

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского

Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)

ул. Косыгина, дом 19, Москва 119991

тел.: 8(926)2381704

e-mail: nat_sor@rambler.ru

Сорохтина Наталья Владиславовна

Я, Сорохтина Наталья Владиславовна, даю согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

26 февраля 2024 г.

