

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)», представленной на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

В диссертационной работе обосновываются взаимосвязи флюоритовой минерализации с щелочно-карбонатитовым магматизмом на нескольких объектах Центрально-Азиатского Складчатого Пояса (ЦАСП). Обсуждаются условия формирования флюорита различных генетических типов и данные изучения включений минералообразующих сред, что является актуальной петрологической задачей. Выявлены индикаторные особенности флюоритовой минерализации Позднемезозойской карбонатитовой провинции. Полученные результаты по геохимии флюорита и параметрам минералообразующих флюидов могут быть использованы для определения типа и прогноза масштаба флюоритового оруденения.

Работа объемом 123 страницы включает 5 глав, 36 рисунков, 13 таблиц и список из 169 цитируемых источников. Основные выводы представлены в трех защищаемых положениях.

В **главе 1** приводится информация о крупнейших месторождениях флюорита Мира; дается определение карбонатитовых пород, истории их изучения и эволюции представлений о генезисе, обсуждаются наиболее общие современные модели формирования карбонатитовых расплавов, дается описание основных типов карбонатитов ЦАСП. Представлено обобщенное описание различных типов флюоритовых месторождений REE в зависимости от их литологии и связи с гидротермальными флюидами из трех основных источников – магматического, метаморфического и осадочного. Указывается, что флюоритообразующие флюиды могут быть амагматичными и связанными с кислыми, щелочными породами и/или карбонатитами. Показана геохимическая специфика флюорита разного происхождения по форме нормированных к хондриту распределений REE и Y. Достаточно полно цитируется основная литература и приводятся соответствующие ссылки по теме карбонатитообразования, кратко описана история их изучения и современные представления о генезисе на основе экспериментальных данных и петрологии карбонатит-содержащих комплексов Полярной Сибири, Забайкалья, Индии и Северной Америки. В разделе 1.4 представлен краткий обзор по карбонатитам ЦАСП, к которым относятся все исследуемые объекты (флюорит-содержащие породы и флюоритовые руды).

Существенным замечанием к главе является излишне краткая и не полная информация о процессах и моделях формирования карбонатитовых или карбонатных расплавов в коровых P - T условиях, а также данных о генезисе флюоритовой магматической минерализации. Например, кроме одной цитируемой публикации по условиям образования карбонатных расплавов в системе $\text{CaO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ при 1 кбар (Wyllie, Tuttle, 1960A), низкобарическое плавление кальцита ($P < 1\text{-}2$ кбар) неоднократно анализировалось по данным экспериментов и физико-химического моделирования на фазовой диаграмме CaCO_3 (Wyllie, Tuttle 1960B; Baker 1962; Wyllie, Boettcher 1969; Irving, Wyllie 1973; Kerley, 1989; Treiman, 1995; Ivanov, Deutsch 2002; Персиков, Бухтияров, 2004; Lindberg and Chartrand 2009; Durand et al., 2015; Peretyazhko et al., 2021). А фторидно-силикатная жидкостная несмешиваемость при участии F-Ca (флюоритового) расплава наблюдалась в экспериментальных системах и обсуждалась в моделях формирования флюорит-содержащих изверженных пород и рудных месторождений (Граменицкий и др.,

2005; Veksler et al., 2005; Dolejs, Baker, 2007a, 2007b; Алферьева и др., 2011; Dolejš, Zajacz, 2018; Yang, Hinsberg, 2019). Реликты флюоритового магматического расплава обнаружены в щелочных базальтах Новой Зеландии (Klemme, 2004), онгонитах массива Ары-Булак в Забайкалье и во флюоритовых риолитах Монголии (наши публикации 2007 – 2020 гг.), в породах плутона Strange Lake, Канада (Vasyukova, Williams-Jones, 2014), Катугинского месторождения (Скляров, 2016) и одного из самых крупных в мире месторождения флюорита Vergenoeg, Бушвельдский комплекс в ЮАР, где разрабатывается гигантское магнетит-флюорит-фаялитовое “pipe-like” тело (Graupner et al. 2014). Неудачна также фраза на стр. 17: “... явления жидкостной силикатно-карбонатной несмесимости, сопровождающееся перераспределением элементов: *флюиды совместно с Са переходят в карбонатно-солевую фракцию*, а силикатный расплав становится более кремненасыщенным.”

В главе 2 описана геология районов распространения карбонатитов и флюорит-содержащих пород ЦАСП на объектах исследования в Южной Монголии (комплекс Мушугай-Худук) и Западного Забайкалья (РЗЭ-Sr-Ba-флюоритовые руды и рудопроявления). Представлены карты-схемы тектонического районирования, геологические схемы строения комплексов щелочных пород и карбонатитов Мушугай-Худук, Аршан, Южное и Улан-Удэнское. Приводится описание минерального состава исследуемых пород с акцентом на флюоритовую минерализацию позднемагматической и гидротермальной стадий.

Замечания к главе. Нет рисунка 7а и 7б (ссылка на стр. 33 и 34). На всех фото образцов (рис. 3, 7, 10, 11 и 13) нет условных обозначений, что усложняет визуальную диагностику породообразующих минералов. Для пород проявления Южное нет BSE изображений минеральных ассоциаций. Хотелось бы также видеть более подробные описания минеральных ассоциаций чрезвычайно разнообразных флюорит-содержащих пород и руд (BSE изображений на рис. 4, 8 и 14 недостаточно).

В главе 3 анализируются геохимические особенности флюоритовой минерализации в исследуемых породах – продуктах щелочно-карбонатного магматизма ЦАСП. Аналитические данные (154 анализа зерен флюорита) были получены методом LA-ICP-MS в двух лабораториях: НГУ (г. Новосибирск) и GFZ (г. Потсдам, Германия). В нескольких таблицах приводятся редкоэлементные характеристики флюорита по всем объектам, а геохимические особенности анализируются, в основном, по диаграмме Tb/Ca vs Tb/La (Möller et al., 1976), где выделяются поля флюорита осадочного, гидротермального и позднемагматического (пневматолитового) происхождения. Выводы этой главы являются обоснованием *первого защищаемого положения* по особенностям концентрирования REE и форме нормированных к хондриту REE распределений для флюоритов, кристаллизующихся на позднемагматической и гидротермальной стадиях щелочно-карбонатитового магматизма.

При благоприятном, в целом, впечатлении от содержания главы приведу следующие *комментарии и замечания*. Удивило полное отсутствие каких-либо аналитических данных по составам минералов, кристаллизующихся совместно с флюоритом (эта информация необходима для анализа генезиса минеральных ассоциаций с породообразующим флюоритом). Почему вся аналитика ограничена только содержаниями REE, Y, Sr и суммой Zr+Nb+Ta в флюоритах? Метод LA-ICP-MS имеет большую чувствительность и позволяет количественно анализировать большой спектр элементов. Как определялось содержание Са в точках (областях) лазерной абляции (на рис. 16, например), каковы вариации Са в пределах анализируемых зерен (данные не приводятся)?

Как интерпретируется устаревший термин *пневматолитовый* и почему выделяется *позднемагматический*, а не *магматический* этап кристаллизации флюорита? Геохимия и

генезис флюорита из проявления Улан-Удэнское не так однозначна, как представляет на стр. 70: по диаграмме Tb/Ca vs Tb/La все точки анализов находятся в области позднемагматического флюорита, но при этом часть спектров имеют относительно низкие содержания LREE и положительную аномалию Y, что характерно для гидротермального флюорита.

Замечания по стилю изложения. Во многих фрагментах текста после описания аналитических данных идет попытка их краткого обсуждения (стр. 57, 58, 65, 68, 70), что неизбежно приводит к повторам при обсуждении связей между геохимией флюорита и экспериментальными данными. Логично было бы объединить основные выводы, начиная со стр. 72, в отдельном заключительном подразделе главы 3.

В главе 4 приводятся данные по включениям минералообразующих сред во флюоритах и оценки некоторых условий их образования. Описаны флюидные включения трех типов: газовой-жидкие двухфазные (VL-тип); многофазные с газовой, жидкой и твердой фазами (VLS-тип); и многофазные, содержащие твердые фазы (CF-тип). Определены свойства флюидных фаз включений (температуры гомогенизации, эвтектики, плавления льда). Отмечается, что во всех включениях присутствует углекислота разной плотности. К достоинствам этой части работы следует отнести локальную диагностику методом Рамановской спектроскопии большого числа кристаллических фаз (карбонатов, сульфатов, магнетита, амфибола и др.), обнаруженных во включениях.

К содержанию этой главы много замечаний как по представлению экспериментальных данных, так и по их интерпретации. В разделе методы исследования нет описания оборудования (термокриокамер) и статистических параметров термометрических измерений, представленных в таблицах 10 и 11. Взаимоотношения флюидных включений (первичных, первично-вторичных и вторичных) разных типов во флюоритах для пород разных объектов представлены без детализаций на фото, которые необходимо было вставить в текст либо в виде приложений к диссертации. В этой связи не понятны взаимоотношения сингенетичных включений во флюоритах – газовой-жидких и кристалло-флюидных CF-типа. Отмечу, что в последних могли захватываться как истинные солевые расплавы (рассолы), так и концентрированные солевые растворы – продукты кипящего флюида. Обработка данных термокриометрии сделана поверхностно и только по температуре плавления льда (определена соленость флюида в терминах NaCl эквивалента) и эвтектике, которая не позволяет однозначно диагностировать состав и тип водного раствора (первого либо второго или P-Q типа). Почему нет данных о плотности углекислоты во флюидах, которую рассчитывают по температуре гомогенизации CO₂ либо по Ферми-дублету, используя КР-спектры? Почему нет оценок температур образования (захвата) включений, которые могут быть намного выше температур гомогенизации, а также примерных расчетов флюидного давления? Почему при обсуждении данных пишется о высококонцентрированных и высокотемпературных карбонатно-сульфатных ± фосфатных рассолах-расплавах, захваченных включениями во флюорите? Очевидно, что без фтора из таких флюидов не может кристаллизаться флюорит. Во втором защищаемом положении это противоречие устранено и минералообразующие среды представлены как сульфатно-карбонатно-фтористые рассол-расплавы либо концентрированные карбонатно-сульфатно-хлоридно-фтористые растворы.

В главе 5 приводятся результаты U-Th-Pb датирования методом LA-ICP-MS и изотопные характеристики Nd, определенные по бастнезиту из фторсодержащих пород на проявлениях Южное и Улан-Удэнское в Западном Забайкалье. Аналитические данные представлены корректно и полученные изотопные характеристики не вызывают вопросов. Завершает эту главу краткий обзор по геохронологии, изотопным особенностям Nd и геодинамике ЦАСП, куда входят исследуемые объекты и другие щелочно-карбонатитовые комплексы Южной Монголии (Мушугай-Худук, Баян-Хошу, Улугей, Хотгор, Хэцу-Тэг и

др.), Западного Забайкалья (Южное, Аршан, Улан-Удэнское, Халюта, Торей) и Центральной Тувы (Карасуг, Чайлаг-Хем, Улатай-Чоз). В *третьем защищаемом положении* определен возрастной диапазон (137-130 млн лет) формирования флюоритовой минерализации на проявлениях Южное и Улан-Удэнское, который совпадает с этапом позднемезозойского щелочно-карбонатитового магматизма ЦАСП.

Общим замечанием к этой главе является в недостаточной степени обоснованный вывод об отнесении исследуемых флюорит-содержащих пород ЦАСП к карбонатитам, поскольку такие породы по терминологии (Mitchell, 2005) могут быть коровыми карбоотермальными образованиям.

По результатам диссертационной работы Редина А.А. с соавторами опубликовала 21 работу, в том числе, 9 статей в журналах, рекомендуемых ВАК, что является очень хорошим показателем публикационной активности. Многие из журналов (Lithos, Ore Geology Reviews, Minerals, Geochemistry, Mineralogy and Petrology) имеют относительно высокие импакт-факторы, индексируются WoS и Scopus.

Автореферат и защищаемые положения полностью соответствуют основным результатам и выводам. Высказанные в отзыве многочисленные замечания и комментарии являются, в большей степени, рекомендациями для дальнейшего более детального обсуждения и анализа полученных аналитических данных, а также, надеюсь, продолжения исследований петрологии, минералогии и геохимии щелочно-карбонатитовых пород ЦАСП и других регионов.

Содержание диссертационного исследования полностью отвечает критериям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 года № 842, а ее автор 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

Перетяжко Игорь Сергеевич

доктор геолого-минералогических наук,

заведующий лабораторией физико-химической петрологии и генетической минералогии,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им.

А.П.Виноградова Сибирского отделения РАН

664033, г. Иркутск, ул. Фаворского 1А

Тел.: 8 (3952) 42-65-00

e-mail: pgmigor@mail.ru

Я, Перетяжко Игорь Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

26 февраля 2024 г.

