

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **ПРОКОПЬЕВА Ильи Романовича**

**"Геологические и физико-химические условия образования Fe-F-REE карбонатитов Центральной Тувы",**

представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Диссертационная работа И.Р. Прокопьева посвящена изучению карбонатитовых месторождений редкоземельных элементов Центральной Тувы. Редкоземельные элементы в настоящее время активно востребованы различными отраслями промышленности, и потребность в них только растет. Поэтому *актуальность* и *практическая значимость* диссертационной работы не вызывает ни малейших сомнений. В качестве основного методического подхода автором был выбран путь изучения расплавных и флюидных включений в минералах изучаемых объектов. Нужно отметить, что исследование включений минералообразующих сред является очень информативным методом и дает уникальную информацию о специфике минерало- и рудообразующих процессов. Количество публикаций в этой области быстро растет последние 50 лет, не испытывая спадов. Автор использовал комплекс современных высокочувствительных и высокоразрешающих физических и химических методов и получил большое количество новых данных о составе и физико-химических параметрах минералообразующих расплавов и флюидов, а также их металлоносности. Полученная информация позволила автору сформулировать концептуальную модель формирования двух типов карбонатитовых месторождений Центральной Тувы и выявить их типоморфные признаки, важные для поиска новых промышленных объектов.

### *Основное содержание работы и замечания.*

Диссертационная работа И.Р. Прокопьева общим объемом 152 страницы состоит из введения, 4 глав, заключения, приложений (таблицы состава индивидуальных флюидных включений) и списка литературы (263 источника), и содержит 59 рисунков и 12 таблиц.

Во введении сформулированы актуальность, цели и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость работы, перечислены использованные методы и сформулированы защищаемые положения. *Цель* работы – «на основе современных термобарогеохимических методов исследования включений в минералах обосновать магматический или гидротермально-метасоматический генезис карбонатитов Центрально-Тувинского пояса, установить физико-химические параметры их формирования, состав и

металлоносность расплавов и гидротермальных растворов, определивших специфику минерального состава, геохимии и рудоносности карбонатитов» – соответствует проведенным автором исследованиям. Из нее логично вытекает перечень задач, который был решен автором вполне успешно.

**Научная новизна** диссертации не вызывает сомнений, поскольку автором впервые получены данные о физико-химических параметрах, составе и металлоносности карбонатных и солевых расплавов, а также постмагматических гидротермальных флюидов карбонатитовых месторождений Центральной Тувы. Автор убедительно показал геохимические особенности изученных рудообразующих систем и их отличия от карбонатитов других регионов. Убедительно показано наличие двух эволюционных рядов карбонатитовых систем, дающих месторождения разных минеральных типов, один из которых более богат редкоземельными элементами.

**Практическое значение** работы связано с возможностью использования генетических представлений, вытекающих из исследований автора, для дальнейшего изучения региона в целях выявления новых промышленных месторождений редкоземельных элементов.

**Достоверность** полученных диссертантом результатов основана на высокой чувствительности использованных методов и представительном объеме экспериментальных данных. Квалификация И.Р. Прокопьева как исследователя флюидных включений, судя по описанию использованных методов и полученных результатов, соответствует современному состоянию науки, и не позволяет усомниться в достоверности полученных данных.

В первой главе диссертации «Карбонатиты: классификация и вопросы происхождения» дается краткая характеристика карбонатитов, основные представления об их генезисе и положение изученных объектов в широком спектре карбонатитовых месторождений России и Мира. Приведены экспериментальные данные о происхождении карбонатных расплавов, граничные физико-химические параметры их возникновения и различные классификации карбонатитовых комплексов, в основном по химическому составу. Дана характеристика карбонатитовых комплексов разных регионов. Приведена подробная характеристика сидеритовых карбонатитов, поскольку именно с такими породами связаны наиболее богатые редкими землями месторождения Тувы. Изложены современные представления об их формировании.

Замечания по главе 1:

1. Некоторое удивление вызывает упоминание в этой главе криолит-сидеритовых

руд месторождения Ивигтут. Криолит в них действительно формировался при высоких температурах (от 600 °С и ниже). Однако сидерит кристаллизуется позже криолита и при более низких температурах. И, самое главное, это месторождение не связано с карбонатитовым комплексом магматических пород, а локализовано в гранитоидах.

*Во второй главе* «Геологическое строение, минеральный состав и возраст карбонатитов Центральной Тувы» дана геологическая характеристика карбонатитовых комплексов Центральной Азиатской провинции в целом и подробно охарактеризованы карбонатитовые комплексы Центральной Тувы, которые изучал автор. Дана подробная геологическая характеристика месторождений, приведены минералогические исследования автора и схема последовательности выделения минералов. Приведены полученные автором изотопные данные о возрасте серицита и мусковита из карбонатитовых руд. В заключение подобран перечень предварительных геологических аргументов в пользу магматогенного генезиса карбонатитов.

Замечание ко 2 главе:

2. К сожалению, в работе отсутствует геохимическая характеристика магматических пород и карбонатитов Центральной Тувы. Несомненно, петрохимические диаграммы поведения основных элементов, спайдер-диаграммы или хотя бы распределение редких земель дали бы дополнительные данные о магматической природе карбонатитов.

*В третьей главе* «Исследования включений в минералах карбонатитов Тувы» дан обзор представлений о генезисе изучаемых объектов. После этого приведено подробное описание включений минералообразующих сред (расплавов, рассолов и гидротермальных флюидов), сопровождаемое прекрасными фотографиями, доказывающими наличие включений расплавов и высокотемпературных флюидов. Эксперименты по нагреванию включений подтвердили их высокотемпературный генезис и позволили оценить давление при кристаллизации, которое составило 50-75 МПа. Исследования индивидуальных флюидных включений методом КР-спектроскопии позволили автору установить среди твердых фаз во включениях в минералах различных объектов анкерит, кальцит, сидерит, Се-анкилит, ангидрит, Fe-копиапит, тенардит, а в газовой фазе – углекислоту и азот. Дополнительные характеристики состава дочерних фаз получены методом сканирующей электронной микроскопии, позволившие уточнить составы хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов, не определяемых КР-спектроскопией, а также бастнезит, целестин и галенит. Метод лазерной абляции LA ICP MS позволил проанализировать

флюидные и расплавные включения на широкий спектр элементов и получить представительную информацию о металлоносности расплавов и флюидов. Полученный массив данных был обработан методами математической статистики, позволившими выявить корреляционные связи между элементами и установить различия в металлоносности флюидов, формировавших различные типы карбонатитов.

Эта глава самая большая в работе, поскольку содержит основные экспериментальные данные, полученные автором. Глава производит очень хорошее впечатление, поскольку проведенные автором исследования имевшимися в его распоряжении методами позволили получить информацию на современном научном уровне, достойную для публикации в высокорейтинговых международных журналах, вполне достаточную для решения поставленных задач. Описание исследований выполнено корректно и со знанием дела.

К тексту 3 главы все же имеются замечания:

3. Метод LA ICP MS в применении к изучению состава флюидных и расплавных включений имеет ряд сложностей, связанных с оценкой концентраций элементов во флюидах. В тексте работы есть упоминания об использовании галита и сильвина в качестве внутренних стандартов. Однако характеристика процесса измерения и расчета концентраций должна быть более подробной, чем это представлено в работе. Необходимы сведения об особенностях вскрытия включений, использованных стандартах и способах расчета концентраций. Не указан также способ оценки давлений.

4. Автор в подписи к рис. 27 противопоставляет Раман и КР-спектроскопию. Он считает, что это разные методы?

*Четвертая глава «Физико-химические условия формирования карбонатитов Тувы»* посвящена обобщению полученных данных, формулирует положение о своеобразии карбонатитовых систем Тувы и отличиях их от карбонатитов других регионов, и приходит к выводу о наличии двух генетических линий эволюции карбонатитовых рудно-магматических систем Центральной Тувы. По существу, в этом разделе сформулированы все защищаемые положения. Они логично вытекают из полученных автором данных, согласуются с существующими представлениями о генезисе карбонатитов и не вызывают противоречий с геологической характеристикой изученных объектов. Материал, полученный автором, свидетельствует о хорошей обоснованности защищаемых положений и заставляет с ними согласиться. Завершается обсуждение сравнением полученных результатов с данными по карбонатитам других регионов и попытками сформулировать модель формирования сидеритовых карбонатитов.

Замечание к главе 4:

5. В карбонатитовых расплавах и флюидах большинства регионов распространены гидрокарбонаты щелочных металлов (нахколит, калицит и др.), не обнаруженные в расплавах и флюидах изученных объектов. Это различие не обсуждается, хотя оно тоже указывает на своеобразие изученных автором карбонатитов и свидетельствует о более кислом характере флюидов карбонатитов Тувы.

*В Заключении* автор формулирует основные выводы. Замечаний к ним нет.

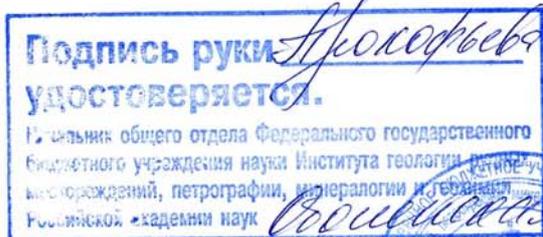
Сделанные замечания не ставят под сомнение выводы диссертационной работы И.Р. Прокопьева. Автор овладел современными методами исследований флюидных включений и получил с их помощью важные научные результаты, чем и доказал свою квалификацию. Автореферат соответствует тексту диссертации. Защищаемые положения хорошо обоснованы и не вызывают возражений. Все основные результаты отражены в публикациях, в том числе в двух статьях из списка ВАК, и неоднократно докладывались на российских и международных совещаниях.

Представленная к защите работа полностью отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, И.Р. Прокопьев, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Ведущий научный сотрудник ИГЕМ РАН  
доктор геолого-минералогических наук



В.Ю.Прокофьев



Прокофьев Всеволод Юрьевич  
119017 Москва, Старомонетный пер., 35  
8-499-230-84-44

[vpr@igem.ru](mailto:vpr@igem.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
Российской академии наук  
Ведущий научный сотрудник