

Отзыв официального оппонента

доктора геолого-минералогических наук Андрея Александровича Арзамасцева на диссертацию Ильи Романовича Прокопьева «Петрогенезис и рудоносность щелочных карбонатитовых комплексов Сибирского кратона и складчатого обрамления», представленную к защите на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук по специальности: 1.6.3 – «Петрология, вулканология» 1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»

Положительной особенностью представленной Ильёй Романовичем Прокопьевым работы, отличающей её от многих диссертаций по близкой геологической тематике, является чёткая ориентированность на получение практически значимого результата, позволяющего определить условия образования рудной минерализации конкретных геологических объектов, и, главное, вытекающие из проведенного исследования практические следствия, которые могут быть непосредственно применены геологами-производственниками.

Выбор объектов исследования и фактический материал.

Замечание 1. Представляется несколько искусственным объединение в едином исследовании разновозрастных щелочных и карбонатитовых комплексов из разных регионов Центрально-Азиатской провинции и имеющих значительные различия в геологическом строении, геохимии и минералогии слагающих пород. Так, карбонатиты Селигдара, Усть-Чульмана и Муосталааха сформировались на рубеже 1.88 млрд лет назад, массив Арбарастах образовался в диапазоне ~ 650-640 млн. лет, ультраосновные лампрофиры Чадобецкого комплекса ~ 250-240 млн. лет. С одной стороны, попытки диссертанта обнаружить общие черты геологии, вещественного состава, петрогенезиса этих объектов, сформировавшихся в разных геодинамических обстановках, могут приветствоваться, но недостаточны на современном этапе. С другой, автор значительно усложнил свою работу, поскольку был вынужден проводить детальные и весьма затратные исследования не в одном регионе, а на нескольких весьма разнородных объектах, что, однако, повышает ценность представленной работы и является её несомненным достоинством.

Апробация. Работы И.Р. Прокопьева хорошо известны научному сообществу, поскольку представленные в диссертации материалы соискатель опубликовал более чем в 50 статьях из списка ВАК, все из которых представлены в журналах, индексируемых Web of Science и Scopus. Также И.Р. Прокопьев лично сделал 22 доклада на представительных международных, российских и региональных конференциях: Щелочной и кимберлитовый магматизм Земли... 2023; Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал, 2023; Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits... 2019 и др.).

Актуальность. Определение условий образования щелочных и карбонатитовых расплавов находится в центре внимания петрологов и геохимиков уже не одно десятилетие. Обогащенность щелочных пород редкими и ценными элементами-примесями обуславливает практическую значимость этих объектов, со многими из которых связаны месторождения ценного редкометалльного сырья. В связи с этим избранная И.Р. Прокопьевым тема работы, сфокусированная на определении физико-химических условий образования и эволюции расплавов и, что особенно важно и интересно, флюидов при становлении различных по генезису и рудоносности щелочных карбонатитовых комплексов, представляется весьма актуальной как в научном плане, так и с точки зрения практической значимости. Объявленная диссертантом цель работы продиктовала необходимость привлечения наиболее современных геохимических и аналитических подходов и методов изучения, которые диссертант реализовал в полном объёме. Проведенные автором на материале сибирских объектов

петрологические исследования, позволили достичь более глубокого понимания процессов и механизмов образования рудоносных карбонатитовых комплексов, что может быть применимо в практическом плане для поиска и переоценки аналогичных потенциально рудных объектов в России и мире.

Научная новизна состоит в полученных новых фундаментальных знаниях об условиях формирования и эволюции расплавов и флюидов при становлении различных по генезису и рудоносности щелочных карбонатитовых комплексов. Особой научной ценностью, по мнению оппонента, являются результаты анализа эволюции рудных минеральных парагенезисов при смене флюидного режима в ходе образования карбонатитовых интрузий при переходе от магматического к гидротермальному этапу. Диссертантом убедительно показано, что образование рудной минерализации происходило при участии силикатно-карбонатных и/или солевых расплавов (рассол-расплавов) на магматическом этапе и при участии карбонатных/карбонатитовых флюидов на гидротермальном этапе формирования комплексов.

Достоверность представленной работы не вызывает сомнений и обеспечена большим фактическим материалом, собранным лично диссертантом, многообразием изученных геологических объектов, использованием различных современных методов исследования вещества, подробным описанием геологических обстановок, условий экспериментов и расчетов, а также широкой апробацией работы.

Практическая значимость. Можно согласиться с диссертантом, что наиболее важным результатом проведенных исследований является выработка петрологических критериев прогноза, поиска и оценки месторождений полезных ископаемых, связанных со щелочными интрузиями не только Сибири, но и других регионов мира. Полагаю, что приведенные в работе результаты высокоточных изотопных и прочих аналитических исследований минералов и пород будут полезны при оценке технологических свойств руд.

Диссертационная работа И.Р. Прокопьева построена по традиционной схеме и включает пять глав, введение, заключение и список цитируемой литературы из 592 наименований. Общий объем составляет 328 страниц, включая 105 рисунков и вынесенных в приложения 33 таблиц, содержащих ценнейшие результаты высокоточных изотопных и прочих аналитических исследований.

Первая глава содержит информацию о состоянии изученности карбонатитовых комплексов и представляет собой подробный литературный обзор петрологических исследований карбонатитов, в ней представлены основные понятия и процессы, сопровождаемые комментариями диссертанта. Глава демонстрирует блестящее знание диссертантом научной литературы и искусство анализа научных исследований предшественников. По-существу, в первой главе автор сформулировал наиболее проблемные и нерешенные вопросы, которые явились основанием для постановки исследований. В частности, наиболее актуальным является, по мнению диссертанта, анализ причин и условий трансформации кальциокарбонатитов в натрокарбонатиты, выявление причин аномально обогащенных изотопных Sr-Nd компонентов в карбонатитовых комплексах орогенного или посторогенного происхождения, а также механизма и условий образования в карбонатитах рассол-расплавов и параметров перехода в карбонатитных жидкостях к системе расплав-флюид, включая оценку роли этого процесса в рудоносности РЗЭ-карбонатитовых комплексов. В целом, способ изложения позволяет составить достаточно полное представление об основных достижениях и проблемах в этой области петрологии и рудогенеза.

Во второй главе приведены подробная петрографическая и минералогическая характеристики магнезиокарбонатитов Центрального Алдана. Особую ценность, по мнению оппонента, имеют результаты геохронологических исследований цирконов из карбонатитов: возраст

карбонатитов Селигдара показал 1880 ± 13 млн. лет, карбонатитов Усть-Чульмана - 1878 ± 17 млн. лет, карбонатитов Муосталааха - 1906 ± 6 млн. лет.

Замечание 2. Всю совокупность минеральных фаз автор подразделяет на первичную (магматическую) и вторичную, образованную на гидротермально-метасоматическом этапе ассоциации. К первой группе отнесены магнетит, апатит, доломит, щелочные полевые шпаты, флогопит, торит, циркон, бадделеит, ко второй - монацит, гематит, кальцит, кварц, барит, барито-целестин, ангидрит, торианит, ксенотим, сидерит, шпинель, рутил, гидрокарбонаты и фторкарбонаты REE, сульфиды. Такое разделение представляется в значительной мере произвольным. Какая-либо аргументация, обосновывающая такое разделение, отсутствует, хотя в последующих разделах приведены данные по первичным и вторичным включениям и другая полезная информация.

Замечание 3. Автор, на основе приведенных оценок генерации апатит-доломитовых карбонатитов (глубины > 100 км, $T > 900$ °) утверждает, что эти породы являются продуктом «прямого плавления карбонатизированной перидотитовой мантии». Однако, согласно последним экспериментальным исследованиям (Schmidt et al., 2023, 2024), показано, что карбонатитовые расплавы из литосферных мантийных источников не могут достигать земной коры и не могут кристаллизовать доломит. Основными причинами этого является неизбежное адиабатическое охлаждение карбонатитового расплава и при достижении солидуса на глубине 75 км эти расплавы становятся нестабильными и реагируют с силикатами (ортопироксеном) (Yaxley & Green, 1996). Кроме того, взаимодействие доломитовых расплавов с литосферной мантией - химические реакции и обмен теплом - приводит к дополнительному охлаждению и, следовательно, к термическому эффекту «разрушения» и кристаллизации этих расплавов на месте. Как, в таком случае, можно объяснить образование магнезиокарбонатитового расплава, достигшего поверхности земной коры и сформировавшего доломитовые карбонатиты Алдана?

Третья глава посвящена петрологическим исследованиям ультраосновных лампрофиров Чадобецкого комплекса на Сибирском кратоне. Диссертант приводит результаты исследования состава и условий генерации расплавов ультраосновных лампрофиров, а также их эволюции с образованием рудоносной фракции щелочно-карбонатного состава, сформировавших редкоземельно-редкометалльные карбонатиты Чадобецкого комплекса и массива Арбарастах. Замечаний нет.

В четвертой главе даны петрографическая и минералогическая характеристики редкометалльных карбонатитов и фоскоритов массива Арбарастах, которые явились основой для петрогенетических построений. В частности, рассмотрены процессы силикатно-карбонатной несмесимости и поведение рудных компонентов в этом процессе. Наиболее ценны, по мнению оппонента, результаты изучения расплавных и флюидных включений что позволило сформулировать третье защищаемое положение, обосновывающее образование Ta-Zr-Nb минерализация карбонатитов массива на магматическом этапе из щелочно-силикатно-карбонатного расплава, а также формирование рудоносной Ba-Sr-редкоземельной ассоциации на гидротермальном этапе. Следует также особо отметить усилия диссертанта в попытке более точного определения возраста массива Арбарастах, что позволило ограничить диапазон его формирования интервалом 657 – 632 млн. лет.

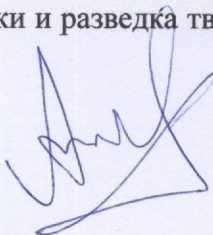
В пятой главе приводится обзор исследований включений в минералах редкоземельных карбонатитов Центрально-Азиатской провинции, а также результаты исследований редкоземельных карбонатитов Центрального Таймыра. Рассмотрен флюидный режим формирования карбонатитов складчатых областей (Центрально-Азиатского пояса и Таймырской области), образующих отдельный генетический тип карбонатитов, связанных с эволюцией карбонатсодержащих щелочно-базитовых расплавов.

Замечание 4. Насколько уместно утверждать о формировании исследуемых карбонатитов Таймыра в обстановке складчатых областей в пермо-триасовый период и каковы свидетельства связи формирования этих карбонатитов с эволюцией карбонатсодержащих щелочно-базитовых расплавов? Имеются ли свидетельства присутствия силикатных щелочных комагматов для карбонатитов Центрально-Таймырского региона?

Диссертационная работа И.Р. Прокопьева подготовлена в соответствии с требованием ВАК и отвечает паспорту специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология» 1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

Автореферат соответствует содержанию диссертации. По актуальности темы, уровню поставленных и решенных задач, новизне и практической значимости полученных научных результатов диссертационная работа Ильи Романовича Прокопьева полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в "Положении о присуждении ученых степеней", утвержденном постановлением Правительства РФ.

Считаю, что автор диссертационной работы, Илья Романович Прокопьев заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология» 1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».



Андрей Александрович Арзамасцев

доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук

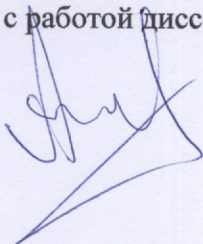
Почтовый адрес: 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2.

Телефон: +79213448645, 8(812)3284701

Электронная почта: arzamas@ipgg.ru, arz1998@yahoo.com

Я, Арзамасцев Андрей Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись



15 мая 2025 года

