

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки (ФГБУН)
Институт геологии и геохимии им. академика
А.Н. Заварицкого Уральского отделения
Российской академии наук
профессор РАН, доктор геол.-мин. наук



Зедгенизов Дмитрий Александрович

« 19 » мая 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Прокопьева Ильи Романовича**
«ПЕТРОГЕНЕЗИС И РУДОНОСНОСТЬ ЩЕЛОЧНЫХ КАРБОНАТИТОВЫХ
КОМПЛЕКСОВ СИБИРСКОГО КРАТОНА И СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ»,
представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук
по специальностям: 1.6.3 – «Петрология, вулканология», 1.6.10 – «Геология, поиски и
разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»

Диссертационная работа Прокопьева Ильи Романовича посвящена исследованию петрологических особенностей образования трех основных генетических типов рудоносных щелочных карбонатитовых комплексов, сформированных в разные временные интервалы в пределах Сибирского кратона и его складчатого обрамления. Цель исследования определена соискателем как определение физико-химических условий образования и эволюции рудоносных расплавов и флюидов карбонатитовых систем. Выбранные для изучения геологические объекты представлены: (1) РЗЭ-апатитоносными палеопротерозойскими магнезиокарбонатитами Центрального Алдана, сформированными в результате плавления карбонатизированной перидотитовой мантии, (2) щелочно-ультраосновными лампрофирами и РЗЭ-редкометалльными (Zr-Nb) карбонатитами Чадобецкого пермо-триасового комплекса и неопротерозойским массивом Арбарастах, формирование которых определялось процессами карбонат-флогопитового метасоматоза и частичного плавления перидотитовой мантии, а также (3) рудоносными Fe-F-Ba-Sr-РЗЭ карбонатитами Центрально-Азиатского складчатого пояса (позднемезозойскими карбонатитами Тувы и Забайкалья) и триасовыми F-Ba-РЗЭ карбонатитами Центрального Таймыра, образование которых связано с эволюцией карбонат-содержащих щелочно-базитовых расплавов.

Актуальность настоящей работы определяется ее направленностью на выявление условий зарождения карбонатитовых расплавов, влияния процессов несмесимости и

дифференциации при формировании карбонатитов, а также роли данных процессов на рудообразующий потенциал карбонатитов.

Научная новизна и практическая значимость исследований. Впервые на основе изучения состава и геохимических особенностей расплавных и флюидных включений выполнена сравнительная характеристика физико-химических условий образования и эволюции расплавов и флюидов для различных генетических типов карбонатитовых комплексов. Это определяет высокую степень значимости и оригинальности полученных автором результатов для развития фундаментальных научных исследований в области петрологии щелочного магматизма и связанного с ним оруденения. Вместе с тем, изучение рудоносности карбонатитовых комплексов имеет важный прикладной характер. Большинство исследованных комплексов является перспективными рудными объектами или месторождениями с разведанными запасами редкометалльных и/или редкоземельных руд (Чуктукон, Арбарастах, Карасуг, Селигдар и др.), включая объекты Арктической территории (Таймыр). Таким образом, полученные петрогенетические характеристики применимы в практическом плане для поиска и переоценки потенциально рудных объектов на редкоземельно-редкометалльное сырье, имеющее приоритетное и стратегическое значения для развития геологической отрасли и промышленности Российской Федерации. Следует отметить, что изучение щелочно-карбонатитовых комплексов Сибирского кратона и его складчатого обрамления многие десятилетия привлекает внимание исследователей, а результаты этих работ опубликованы в многочисленных статьях и монографиях. Не вся эта литература была учтена автором при формулировке научной новизны собственных исследований и текста защищаемых положений, что будет показано ниже.

Оригинальность подхода к проводимым научным исследованиям определяется комплексностью задач и использованием современных аналитических методов. В рамках поставленных задач проведено геологическое изучение объектов во время полевых работ и по литературным данным; выполнен комплекс изотопно-геохронологических исследований (U-Pb LA-SF-ICP-MS, U-Pb SHRIMP II, Ar-Ar). Характеристика вещественного состава пород, диагностика минеральных ассоциаций, определение текстурно-структурных взаимоотношений и последовательности минералообразования выполнены с использованием методов оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа. Микроэлементный состав пород был определен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Современными и традиционными методами термобарогеохимии проведены исследования расплавных и флюидных включений в минералах щелочных пород: оптическая микроскопия, СЭМ, рентгеноспектральный микроанализ, термо-криометрия, рамановская спектроскопия и масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА ИСП-МС). Методом ЛА ИСП-МС проводилось исследование микрокомпонентного состава минералов.

Достоверность результатов и высокое качество представленных данных не вызывает сомнения, поскольку исследования выполнены в ведущих аналитических центрах России (гг. Санкт-Петербург, Новосибирск и др.) и Китая.

Личный вклад соискателя. Соискатель принимал личное участие в полевых исследованиях изучаемых геологических объектов (кроме Таймыра), самостоятельно выполнил большую часть аналитических исследований, провел обобщение полученного фактического материала, необходимого при построении петрогенетических моделей для изучаемых карбонатитовых комплексов.

Апробация и публикации. Результаты исследований прошли апробацию и соответствует уровню диссертационных работ на соискания ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Научные достижения представлены на всероссийских и международных конференциях, прошли экспертную оценку отчетов по проектам НИР, РФФИ и РНФ, а также опубликованы в 50 статьях, рекомендованных ВАК (включая международные базы цитирования Web of Science и Scopus). Значительная часть статей опубликована в научных изданиях первого и второго квартиля; при этом соискатель во многих публикациях является первым автором.

Обоснованность научных результатов и выводов. Представленная диссертационная работа обладает внутренним единством и характеризуется высоким научным уровнем и качеством представленной информации. Диссертация содержит оригинальные научные результаты и положения, выдвигаемые для защиты, которые в полной мере отражены в публикациях и автореферате.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав с результатами петрологических исследований, заключения, списка литературных источников и приложений с фактурными аналитическими данными. Общий объем диссертации составляет 328 страниц, в ней содержится 105 рисунков и 53 таблицы, список литературных источников содержит 592 наименования.

Во введении диссертационной работы формулируется научная проблема, цели и задачи исследования. Достаточно подробно охарактеризованы методы и аналитические параметры использованного оборудования. Также представлены научная новизна, практическая значимость и личный вклад соискателя; приводится информация о фактическом материале, на котором основана работа, и о ее связи с научно-техническими программами. Защищаемые положения, сформулированные соискателем, характеризуют особенности эволюции расплавов и флюидов, участвующих в становлении карбонатитовых комплексов различных генетических типов.

В первой главе диссертации дан обзор современного состояния изученности карбонатитовых комплексов. В главе приведены основные понятия и механизмы образования карбонатитов, охарактеризованы обстановки формирования карбонатитовых комплексов. Процессы рудообразования на примере различных карбонатитов представлены в контексте эволюции карбонатитовых систем при переходе от магматического к

гидротермально-метасоматическому этапу; отдельное внимание уделено фенитам и антискарнам. В разделе дается обзор литературных данных, приводятся петрографические особенности щелочных пород карбонатитовых комплексов и рассмотрены генетические аспекты формирования ультраосновных лампрофиров и фоскоритов; проведен анализ данных по исследованию расплавных и флюидных включений в карбонатитах и ассоциирующих щелочно-силикатных породах. В первой главе также обсуждаются существующие модели образования щелочных карбонатитовых комплексов, включая процессы кристаллизационной дифференциации и многокомпонентной несмесимости; показана их роль в петрогенезисе и рудогенезе карбонатитовых комплексов, а также представлены результаты экспериментов и численного моделирования в щелочных системах.

По содержанию данной части работы имеются следующие замечания.

1. Название работы «Петрогенезис и рудоносность щелочных карбонатитовых комплексов Сибирского кратона и складчатого обрамления» очень масштабно и предполагает, что диссертационная работа автора охватывает все известные провинции щелочного и карбонатитового магматизма Сибирской платформы, в том числе Маймеча-Котуйскую, Сетте-Дабанскую, Уджинскую (с уникальным по запасам и качеству руд Nb-REE месторождением Томтор, Якутия), Восточно-Саянскую (с крупными Nb-P месторождениями Белая Зима, Средняя Зима, Большая Тагна, Восточный Саян), а также карбонатитовые комплексы Енисейского кряжа (Татарское Nb месторождение, U-Th-REE Кийское месторождение) в складчатом обрамлении Сибирской платформы. Среди изученных диссертантом объектов эти крупнейшие провинции не представлены.

2. В предлагаемом литературном обзоре не нашлось места для результатов петрологических исследований, выполненных ранее на примере промышленно значимых карбонатитовых комплексов большинства вышеназванных провинций Сибирской платформы, а также расположенных в пределах Уральского складчатого пояса. В частности, в списке цитированной литературы отсутствуют ссылки на опубликованные работы Л.С. Егорова, Л.С. Бородина, Э.А. Ланды, А.Г. Жабина, В.Я. Левина, Б.М. Роненсона, И.Л. Недосековой и многих других. Краткое рассмотрение этих исследований могло бы способствовать более глубокому анализу условий образования карбонатитов и связанных с ними месторождений.

Проводя литературный обзор, соискатель нередко заимствует целые абзацы из оригинального текста других авторов, и хотя ссылка на автора/авторов приводится в конце предложения, такой текст следовало бы рассматривать как цитату и заключать в кавычки.

3. В разделе *1.1. Происхождение карбонатитов* в первом абзаце обзора разновидностей карбонатитов соискатель перечисляет кальциокарбонатиты, натрокарбонатиты, феррокарбонатиты, согласно классификациям [Woolley and Kempe, 1989; Gittins and Harmer, 1997; Le Maitre, 2002; Mitchell, 2005], не упоминая магнезиокарбонатиты, которые известны во многих карбонатитовых комплексах.

Характеризуя спектр пород интрузивных карбонатитовых комплексов, наряду с породами щелочно-ультраосновного ряда (кремненедосыщенных пород, содержащих фельдшпатоиды), автор упоминает лишь щелочные сиениты, но по каким-то причинам не включает в это перечисление фельдшпатоидные сиениты, которые установлены во многих карбонатитовых комплексах. Далее в тексте (стр. 180 и др.) автор использует термин щелочной сиенит для нефелиновых сиенитов и других фельдшпатоидных сиенитов. Употребление термина щелочной сиенит для пород группы фельдшпатоидных сиенитов не соответствует существующим классификациям пород (Le Maitre, 2002; Петрографический кодекс, 2008). Щелочные сиениты – это самостоятельная группа кремненасыщенных пород, а фельдшпатоидные сиениты отличаются от щелочных сиенитов прежде всего кремненедосыщенностью и соответственно присутствием фельдшпатоидных минералов.

4. В разделе 1.2. *Обстановки формирования* описание орогенных обстановок формирования карбонатитовых комплексов дано на основе цитирования из работ [Chakhmouradian et al, 2008; Woodard and Herrington, 2014; Simanl and Paradis, 2018], например: «они могли внедряться до перехода от тектонических режимов растяжения к сжатию или непосредственно во время постколлизийной релаксации». Это описание не учитывает другой механизм генерации щелочных и карбонатитовых магм непосредственно на орогенном этапе становления складчатых областей (связанный с коллизийной сдвиговой тектоникой и внутриорогенной фазой растяжения во время развития орогена с последующей фазой сжатия), формирующий деформированные комплексы нефелиновых сиенитов и карбонатитов (например, комплекс Кпонг, Пан-Африканский ороген, Западная Африка [Attoh et al, 2007; Emmanuel et al., 2013], Монте-Санто щелочной комплекс, Бразилия [Valentin et al, 2020]).

5. Название раздела 1.3 *Процессы рудоносности* представляет собой стилистическую неточность, так как слово «процессы» означает развитие или последовательность событий, а слово «рудоносность» означает лишь наличие оруденения. Более точно было бы использовать словосочетание «процессы рудообразования».

На стр. 27. среди перечисленных щелочно-карбонатитовых комплексов упоминается Ловозеро, но это ультраосновной щелочной комплекс, в котором нет карбонатитов.

6. В разделе 1.6. *Ультраосновные лампрофиры – айлликиты* требуется уточнение определения термина «дамтьернит», используемое диссертантом. Так, на стр. 31 в первом абзаце «дамтьерниты» определены, как безмелилитовые полевошпат-содержащие разновидности лампрофиров, а в следующем абзаце, как ультраосновные лампрофиры, содержащие фельдшпатоиды. В дальнейшем, стр. 109, 3 абзац, автор определяет дамтьернит, как ультраосновной лампрофир, в котором в основной массе появляется полевошпат и/или щелочной полевошпат. Аналогичная неточность в определении термина дамтьернит и его отличия от айлликита по «наличию кристаллов полевого и/или щелочного полевошпата» приводится на стр. 115. Отметим, что согласно [Tarpe et al., 2005] дамтьернит отличается от айлликита присутствием либо нефелина, либо щелочного полевошпата (т.е. калиевого

полевого шпата и альбита). Таким образом, необходимо уточнить используемый автором термин дамтьернит и привести его в соответствие с Международной классификацией магматических пород (IUGS) и работам [Rock, 1986; Tappe et al., 2005; 2006]. Согласно данным работам, дамтьерниты представляют собой ультраосновные лампрофиры, с макрокристами и/или фенокристами оливина, флогопита и клинопироксена, содержащие в базисе флогопит/биотит, клинопироксен, шпинель, ильменит, рутил, перовскит, Ti-гранат, титанит, апатит и первичный карбонат, и обязательно *фельдшпатоид (нефелин и др.) и/или щелочные полевые шпаты (калиевой полевой шпат, альбит)*.

Вторая глава диссертационной работы посвящена петрологическому исследованию РЗЭ-апатит-доломитовых карбонатитов Центрального Алдана. Соискателем проведены исследования объектов Селигдарского типа, для которых вопросы генезиса и временного интервала формирования оставались нерешенными до недавнего времени. В главе достаточно подробно описано геологическое и тектоническое строение Алданского щита, отдельно рассмотрены геология локальных районов объектов исследования. Детально проведен анализ минерального состава карбонатитов и ассоциирующих щелочно-базитовых пород в пределах выходов карбонатитовых интрузий. Прецизионными методами изотопно-геохронологического датирования (U-Pb SHRIMP II, Ar-Ar) охарактеризован временной интервал формирования доломитовых карбонатитов Центрального Алдана, который составляет 1.9-1.87 млрд лет. Этот интервал также фиксируется в формулировке первого защищаемого положения. В геодинамическом аспекте, внедрение Центрально-Алданских магнезиокарбонатитов совпадает с позднепалеопротерозойскими постколлизийными процессами в пределах Сибирского кратона на рубеже 1.9–1.85 млрд лет [Котов и др., 2004; Gladkochub et al., 2006, 2012].

Во второй главе, используя современные методы термобарогеохимии, дана характеристика состава расплавных и флюидных включений. Показано, что расплавы магнезиокарбонатитов обогащены легкими РЗЭ и имеют минимумы по содержанию Nb, Zr и Hf относительно соседних элементов на мультиэлементном спектре, что характеризует особенности источника карбонатитов данного генетического типа. Обогащение расплавов Са и Р привело к кристаллизации рудообразующего апатита на магматическом этапе. Флюидные включения показали особенности состава карбонатитовых флюидов; вывод о том, что Ba-Sr-РЗЭ рудоносная минерализация сформировалась на гидротермальном этапе подтверждается результатами минералогических исследований. Полученные петрогенетические характеристики магнезиокарбонатитов Алдана также сформулированы в первом защищаемом положении диссертационной работы. Отметим, что выявленная двухэтапность процесса рудогенеза для доломитовых карбонатитов Алдана является одним из оригинальных научных достижений диссертационной работы.

Замечания по главе 2.

1. В первом защищаемом положении постулируется время образования карбонатитов Алдана 1.9-1.87 млрд лет. Однако подобные значения возраста были опубликованы в

монографии «Апатитовые породы Селигдара» (1982, стр. 15), которая есть в списке литературы диссертации. Тогда почему эти опубликованные значения не обсуждаются? В формулировке первого защищаемого положения не просматривается, чем генетические представления автора отличаются от ранее опубликованных представлений других исследователей.

2. Стр. 57. Апатитоносные рудопроявления Нимнырской зоны Центрального Алдана «по петрологическим данным (геология, геохимия, изотопия, минералогия, геохронология и термобарометрия) отнесены к проявлению типичных магнезиокарбонатитов». Это утверждение является спорным, поскольку приходится констатировать ряд отличий по геохимии: например, в апатит-доломитовых породах Селигдара содержания Ba и Nb на 2-3 порядка ниже, чем в среднемировых составах магнезиокарбонатитов (по данным [Woolley, Kempe, 1989]), а также чем в магнезиокарбонатитах Пенчинского карбонатитового комплекса Енисейского кряжа, которые согласно работам [Врублевский, 2003; Vrublevsky et al, 2019] являются представителями генетического типа (I), то есть генерированы при частичном плавлении мантийных перидотитов с образованием первичных высокомагнезиальных расплавов. От «типичных магнезиокарбонатитов» породы селигдарского комплекса отличаются также изотопным составом Sr и C, который близок к известнякам [Зайцев и др., 1992].

3. Анализы методом ICP-MS выполнены для ограниченного количества элементов (всего 16 элементов) (Табл. 4.1 и 4.2), что не позволяет использовать некоторые геохимические характеристики пород (например, Y/No отношение, Eu/Eu аномалию и многие другие) для интерпретации их петрогенезиса.

4. Стр. 75. При изучении включений «шпинелида» в магнетитах апатит-доломитовых пород не приведены кристаллохимические пересчеты и идентификация минерального вида «шпинелида». При этом на стр. 97 в разделе 6.1. *Петрогенезис магнезиокарбонатитов* утверждается, что это «продукты распада твердого раствора в виде Zn-содержащей ульвошпинели» (что характерно для карбонатитовых комплексов). Однако представленные в табл. 1.4 составы включений содержат 56.38-59.14 мас.% Al_2O_3 , что не соответствует составу ульвошпинели (Fe_2TiO_4).

5. Стр. 86, 87, 88, 90. Морфологические особенности циркона Селигдара, Усть-Чульмана и Муосталлаха, имеющие различный габитус, внутреннее строение и катодоллюминесценцию, характеризуются одинаковыми фразами – «характеризуются бипирамидальным и призматическим габитусом», «содержат трехфазную внутреннюю структуру». Выражение, что циркон "содержит трехфазную структуру" вызывает большое недоумение. Если зерна трехфазные, то это сросток трех минеральных индивидов циркона, а не одно зерно циркона.

6. Необходимо отметить, что состав изученных расплавных включений (стр. 92) – CaO – 29.48-30.14, MgO – 21.57-22.42 мас.% – близок составу доломита, при содержании K_2O+Na_2O – 1.45-3.51 мас.% и FeO – 11.6-25.82 мас.%, но отличается (прежде всего более

высокими содержаниями MgO, а также CaO и FeO и более низким содержаниям щелочей) от экспериментальных высокомагнезиальных карбонатитовых расплавов, полученных в опытах с валовыми составами различных мантийных перидотитов: амфиболовых лерцолитов при 1000°C и 2.2 ГПа [Wallace, Green, 1998], флогопитовых лерцолитов при 1200°C и 2.5 ГПа; при 1120°C и 3.2 ГПа и при 1100 и 3 ГПа [Thibault et al., 1992; Sweeney, 1994], шпинелевых гарцбургитов при 1300°C и 3 ГПа [Dalton, Wood, 1993]. Известно, что дальнейшая эволюция первичных мантийных карбонатитовых выплавов в коровых условиях приводит к повышению содержаний кальция, что подтверждено экспериментами по плавлению шпинелевого верлита при более низких давлениях 1250°C и 2.5 ГПа и 1150°C и 1.5 ГПа [Dalton, Wood, 1993], в которых получены расплавы кальциокарбонатитов, еще более отличающиеся по составу от включений в апатите Селигдара, имеющих доломитовый состав.

7. Стр. 96. «Минеральный состав фторапатита типичен для карбонатитов». По-видимому, речь идет о химическом составе фторапатита. В этом случае, следовало бы указать, какие именно особенности химизма изученного апатита типичны для карбонатитов. Иначе вышеприведенное утверждение является не обоснованным.

8. Стр. 98. Автор обсуждает возраст метаморфических преобразований доломитовых пород Селигдарского типа, объясняя их региональными метаморфическими событиями в диапазоне 1.83-1.73 млн лет. Однако это находится в некотором противоречии с данными раздела 1.2 *Геологическое строение Ц.-Алданского региона*, где указывается (стр. 63) возраст диафтореза амфиболитовой фации в диапазоне 1.9-1.8 млрд лет, что совпадает с возрастом (результатами датирования) доломитовых пород Селигдарского типа. Кроме того, на этой же странице указано, что метаморфизм оказал существенное влияние на изменение состава и геохимии карбонатитов (?). Известно, что метаморфизм – это процесс изохимический, приводящий к изменению минерального состава, но не изменяющий валовой состав и геохимию пород. В противном случае такой процесс следует называть метасоматозом.

Третья глава диссертации характеризует петрогенетические особенности ультраосновных лампрофиров Чадобецкого комплекса, расположенного на юге Сибирского кратона. Соискателем получен массив геохронологических данных, ограничивающих становление Чадобецкого щелочно-ультраосновного карбонатитового комплекса в интервале 250-240 млн лет, что совпадает с периодом активности Сибирского суперплюма. В главе приведены результаты исследования детальной минералогии ультраосновных лампрофиров комплекса (айлликитов и дамтьернитов). Изучены оливины, флогопиты, минералы группы шпинели, а также гидротермальная минерализация, содержащая редкоземельную специфику. Расплавные включения были установлены и изучены соискателем в оливине, флогопите и шпинелидах айлликитов в составе первой фазы становления Чадобецкого комплекса. Показано, что состав включений в оливине отвечает составу расплава близкого к материнскому для Чадобецкого комплекса и характеризуется силикатно-карбонатным

составом с повышенным содержанием щелочей и рудных элементов – LREE, Ba, Sr, Zr, Ta, Nb (что видно на мультиэлементных спектрах пород и составе расплавных включений).

Оценки РТХ-параметров формирования айлликитового расплава для Чадобецкого комплекса, полученные соискателем, составили ~1020 °C при 2 ГПа и ~1300 °C при 6 ГПа (оливиновая термометрия); фугитивность кислорода $\Delta \log(fO_2)$ (оливин-шпинель) для айлликитов при полученных температурах оценена вблизи буфера FMQ в диапазоне –1.15 ... –0.06, что совпадает с данными для айлликитов массива Арбарастах, по которым также в диссертации в качестве сравнения приведены петрологические результаты исследования (включения, минералогия и др.). Согласно полученным петрологическим данным сформулировано второе защищаемое положение, определяющее особенности состава и металлоносности айлликитового расплава Чадобецкого комплекса, эволюция которого приводит к формированию щелочно-карбонатитовых расплавов, из которых кристаллизуются редкоземельно-редкометалльные карбонатиты. Аналогичная модель эволюции айлликитового расплава с формированием редкометалльных карбонатитов была применена соискателем и для массива Арбарастах, расположенном на Алданском щите. Необходимо отметить, что исследование состава расплавных включений ультраосновных лампрофиров Чадобецкого комплекса и массива Арбарастах проведено впервые в современной петрологии и может быть оценено как одно из значимых научных достижений диссертационной работы.

Замечания по главе 3.

1. Из формулировки второго защищаемого положения неясно, чем оно отличается от представлений, опубликованных ранее другими исследователями? Действительно, при обосновании второго защищаемого положения (стр. 132-133) автор предлагает модель формирования рудоносных редкометалльно-редкоземельных карбонатитов Чуктуконского месторождения Чадобецкого комплекса, которые, по мнению автора, формируются в результате эволюции первичных мантийных расплавов айлликитов. При этом констатируется, что существуют модели формирования рудоносных карбонатитов и фоскоритов, как производных щелочно-ультраосновных расплавов, для Ковдора [Расс и др., 2020] и Палаборы [Giebel et al., 2019]. Однако автор не сделал краткого обзора этих моделей, чтобы прояснить, в чем суть и новизна предлагаемой автором модели формирования Чуктуконских карбонатитов и чем она отличается от уже существующих моделей карбонатитообразования. Также возникает вопрос, почему автор обходит молчанием и не проводит сопоставления с другими карбонатитовыми комплексами Сибирской платформы (например, комплексами Восточно-Саянской провинции и другими).

2. Стр. 111. Сделан вывод о том, что «состав шпинелей Чадобецкого комплекса соответствует составу шпинелей ультраосновных лампрофиров». Но на рис 4.1. это не иллюстрируется, здесь представлен «титаномагнетитовый тренд» с полями составов оранжеев и лампроитов (но не ультраосновных лампрофиров), к которому тяготеют и составы шпинелей Чадобецкого комплекса. Чтобы различить оранжеев и айлликиты (то

есть у/о лампрофиры) согласно [Tarpe et al., 2005], необходимо использовать дополнительную характеристику состава шпинели (хромистость $\#Cr$, которая в айлликитах $<85\%$, тогда как в оранжитах $>85\%$). Таким образом, для обоснования сделанного автором вывода надо было привести в тексте эту информацию; иначе утверждение о соответствии состава шпинелей Чадобецкого комплекса составу шпинелей ультраосновных лампрофиров необходимо принимать на веру.

3. Стр. 114. Автором проведено детальное описание химизма и эволюции составов флогопитов Чадобецкого комплекса (иллюстрируются изменения от центра к краю кристаллов). Автор кратко характеризует некоторые особенности химизма и эволюции флогопита и в тексте, и на рис. 43, 44. Однако, анализ полученной информации и сопоставление с диагностическими трендами флогопитов, позволяющими отличать айлликиты, оранжиты и кимберлиты, согласно [Tarpe et al., 2005], автор не проводит (во всяком случае в тексте диссертации), хотя этот анализ часто необходим для корректной идентификации этих пород. Кроме того, для рис. 44 отсутствует часть необходимых условных знаков, что не позволяет сделать анализ представленной на нем информации.

4. Стр. 120, 4 абзац. «Наблюдается 4 кластера возрастов со средними значениями ...». При этом указываются не средние значения, а интервалы возрастов 1870-1820 (n=3); 495-385 (n=10); 290-210 (n=7), 215-162 млн лет (n=12). Кроме того, необходимо отметить, что автором сделана попытка датирования карбонатитов Чадобецкого комплекса U-Pb-методам по цирконам из коры выветривания. Однако эта попытка оказалась безуспешной: результаты датирования показали значительный интервал возрастов, что свидетельствует о нарушении U-Pb системы или ксеногенной природе изученного циркона. Чадобецкий комплекс датирован лишь Ar-Ar методом.

5. Стр. 134. «Состав расплавных включений ультраосновных лампрофиров Чадобецкого комплекса близок к таковым оранжитов... и лампрофиров» и далее ссылка на рис. 56. Но на этом рисунке, представляющем собой таблицу минерального состава различных щелочных пород (кимберлитов, ксенолиты из лампрофировых даек, лампрофиры, мелилиты) нет оранжитов! Кроме того, таблица на английском языке. Так как диссертация защищается на русском языке, представляется, что рисунки и таблицы должны быть также на русском языке.

6. Стр. 152, рис. 62 а,б. На этом рисунке есть тренд А, но он отсутствует в подрисуночной подписи. То же самое относится к рис. 44 на стр. 115. Кроме того, для последнего рисунка нет условных знаков для разноцветных полей.

7. Стр. 157. Ошибочно указан размер расплавных включений: «обычно размером менее 100 мм»; по-видимому, подразумевался размер 100 микрон.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена петрогенезису карбонатитов массива Арбарастах. В главе детально описаны геологическое строение и состав щелочных пород массива, приведены результаты изотопно-геохронологических исследований различных фаз массива (пироксенитов, щелочных сиенитов, карбонатитов и др.), которые

определили интервал становления массива в 650-640 млн лет, синхронный с формированием объектов неопротерозойской редкометалльной щелочно-карбонатитовой провинции, локализованной вдоль южной границы Сибирского кратона (массивы Белая и Средняя Зима, Чапа, Ингили и др. комплексы). В работе детально исследована минералогия рудоносных карбонатитов. Показано, что редкометалльная Zr-Nb минерализация (пироксид, бадделит) кристаллизуется на магматическом этапе, а рудоносная Ba-Sr-PЗЭ – на гидротермальном (фторкарбонаты РЗЭ, барит, целестин и др.). Этот вывод отражен в формулировке третьего защищаемого положения.

Автором также проведены исследования расплавных и флюидных включений в минералах карбонатитов. Состав расплава карбонатитов массива Арбарастан отличается повышенными Nb, Ta, Zr, Hf, Ba, Sr и LREE; на мультикомпонентных спектрах отчетливо прослежена связь и эволюция расплава карбонатитов от расплава ультраосновных лампрофиров; при этом процессы несмесимости, дифференциации и метасоматоза комплексно участвовали в формировании расплавов рудоносных карбонатитов. Эти выводы в достаточной степени обоснованы полученными петрологическими данными и вносят значительный вклад в понимание процессов петро- и рудогенеза при формировании рудоносных карбонатитов щелочно-ультраосновных карбонатит-(фоскоритовых) комплексов, как отдельного модельного типа карбонатитовых систем. Данные по составу расплавов, флюидов и процессов рудогенеза карбонатитов массива Арбарастан легли в основу третьего защищаемого положения диссертанта.

Замечания по главе 4.

1. Стр. 170. Утверждается, что "Бедные железом ксеногенные ядра (т.е., вкрапленников оливина в айлликитах, примечание наше) соответствуют типичным оливинам из мантийного перидотита. Богатые железом ксеногенные ядра (антикриты) связаны с процессом мантийного метасоматоза, обусловленного воздействием прото-айлликитового расплава...". И далее "Химический состав фенокритов оливина контролируется содержанием флогопита и карбоната в исходном расплаве". Утверждения декларативные, не подтвержденные данными.

2. Стр. 176. Представляется, что определение минерального вида амфибола (рихтерит) не обосновано, нет химических анализов. Представленный фрагмент классификационной диаграммы не отражает основные особенности химизма рихтерита и не позволяет идентифицировать этот минеральный вид.

3. Стр. 191-198. Приводится изложение модели формирования пород массива Арбарастан, которое в большой степени основано на материалах цитируемых работ (в частности, изотопные данные), но не на материалах, представленных в диссертации.

4. Стр. 194. Источником щелочных пород и карбонатитов Алдано-Станового щита, имеющих отрицательные значения ϵ_{Nd} , названа метасоматизированная литосферная мантия. При этом никаких обоснований этого вывода не приводится.

5. Стр. 197-198. Представленная модель формирования комплекса Арабастрах в значительной мере основана на изложении результатов модели [Tarpe et al., 2006].

6. Недостатком работы является отсутствие петрохимических данных, часто необходимых для идентификации пород, в том числе дамтьернитов (в частности, для их отличия от группы фельдшпатоидных лампрофиров, согласно [Tarpe et al., 2005]).

В пятой главе диссертационной работы приведены результаты исследования петрогенезиса карбонатитов, связанных с эволюцией карбонат-содержащих щелочно-базитовых расплавов, как отдельного типа карбонатитов. В разделе приведены результаты собственных многолетних исследований автора, а также обобщение имеющихся данных по Fe-F-Ba-Sr-PЗЭ карбонатитам позднемезозойской Центрально-Азиатской провинции (Тува, Монголия и Забайкалье). Кроме того, в главе приведены оригинальные авторские данные по минералогии, возрасту и флюидному режиму формирования однотипных триасовых карбонатитов Центрально-Таймырского региона. Основным результатом проведенных исследований определяет общую схему эволюции карбонатитовых флюидов исследуемых объектов. Изучение расплавных и флюидных включений в карбонатитах позволило показать, что данные породы сформировались при участии рудоносных солевых расплавов (рассол-расплавов) сульфатно-хлоридно-фосфатно-карбонатного состава, эволюция которых на гидротермальном этапе приводит к формированию специфичных солевых карбонатитовых флюидов, ответственных за вторичные (гидротермальные) процессы рудогенеза. В главе приведена компиляция значительного массива данных термобарогеохимического исследования включений минералообразующих сред в карбонатитах, которая составляет своего рода базу данных петрогенетических характеристик (РТХ-параметров минералообразующих процессов), которые могут быть использованы в современной петрологии, в том числе для экспериментов и работ по численному моделированию поведения РЗЭ и рудных компонентов на различных этапах эволюции карбонатитовых комплексов. Это несомненно является существенным научным вкладом в петрологию щелочных карбонатитовых комплексов.

В заключении диссертационной работы автором сформулированы основные петрологические выводы, основанные на результатах проведенных исследований.

В качестве общих замечаний к работе отметим неудобную нумерацию структурных элементов работы. Главы имеют собственную нумерацию, а нумерация разделов и подразделов в разных главах совпадает, хотя первой цифрой должен был стоять номер главы, а потом разделов и подразделов. Непонятно почему список использованной в работе литературы автор начинает с иностранных публикаций, в то время как во всех российских изданиях принято вначале помещать литературу на русском языке. В разных главах диссертации автор помещает фотографии, не относящиеся к сути работы: с рыбалки, общие фотографии с коллегами, которые следовало бы сохранить для мемуаров. К сожалению, автор не уделил достаточного внимания редактированию текста. Ошибки и стилистические неточности в тексте мешают восприятию работы, тем не менее не отменяют ее главных

достоинств. Представленные в отзыве замечания и пожелания носят полемический, часто рекомендательный и редакционный характер, и не влияют на общую положительную оценку результатов проведенного научного исследования. По мнению рецензентов ведущей организации, диссертация представляет собой законченное исследование, отражающее современный уровень исследований по проблеме генезиса и оруденения карбонатитовых комплексов и претендующее на крупное обобщение по петрологии щелочных и карбонатитовых комплексов Сибирского кратона и его складчатого обрамления. Автореферат диссертации отражает содержание защищаемых положений и полностью соответствует диссертационной работе.

В целом, диссертационная работа Прокопьева И.Р. выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., ред. от 26.10.2023 г.), предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Прокопьев Илья Романович заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальностям: 1.6.3 – «Петрология, вулканология», 1.6.10 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

Отзыв подготовлен главным научным сотрудником лаборатории геохимии и рудообразующих процессов Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН), доктором геолого-минералогических наук РАН Маличем Крешимиром Ненадовичем, ведущим научным сотрудником лаборатории геохимии и рудообразующих процессов ИГГ УрО РАН, кандидатом геолого-минералогических наук Недосековой Ириной Леонидовной и и.о. заведующего лабораторией петрологии магматических формаций ИГГ УрО РАН, кандидатом геолого-минералогических наук Пушкаревым Евгением Владимировичем.

Малич Крешимир Ненадович

Доктор геол.-мин. наук, главный научный сотрудник

Лаборатория геохимии и рудообразующих процессов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого

Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН)

620010, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д.15, <http://www.igg.uran.ru/>

E-mail: malitch@igg.uran.ru; телефон: 8-343-2879035

Я, Малич Крешимир Ненадович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета 24.1.050.01, и их дальнейшую обработку.

19.05.2025



Подпись Малича К.Н. заверяю
общим отделом Недосекова И.Л.
19.05.2025г.

Недосекова Ирина Леонидовна
Кандидат геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник
Лаборатория геохимии и рудообразующих процессов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН)
620010, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д.15, <http://www.igg.uran.ru/>
E-mail: nedosekova@igg.uran.ru; телефон: 8-912-2151692

Я, Недосекова Ирина Леонидовна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета 24.1.050.01, и их дальнейшую обработку.

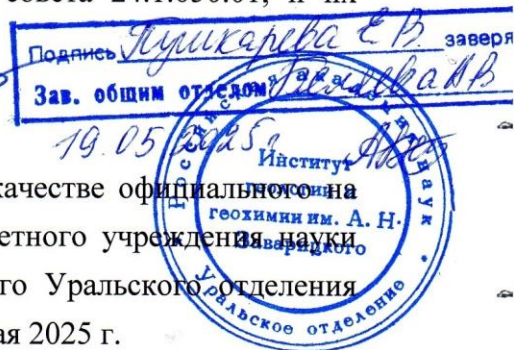
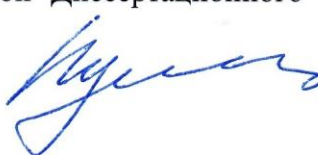
19.05.2025



Пушкарёв Евгений Владимирович
Кандидат геол.-мин. наук, и.о. заведующего
Лаборатория петрологии магматических формаций
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН)
620010, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д.15, <http://www.igg.uran.ru/>
E-mail: pushkarev@igg.uran.ru; телефон: 8-343-2879048

Я, Пушкарёв Евгений Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета 24.1.050.01, и их дальнейшую обработку.

19.05.2025



Отзыв на диссертацию Прокопьева И.Р. заслушан и одобрен в качестве официального мнения на заседании ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН), протокол №7 от 19 мая 2025 г.

Секретарь ученого совета ИГГ УрО РАН,
Кандидат геол.-мин. наук



И.А. Готтман

Председатель ученого совета ИГГ УрО РАН
Доктор геол.-мин. наук, проф. РАН



Д.А. Зедгенизов