

**УТВЕРЖДАЮ**

и. о. проректора по научной и инновационной деятельности  
Федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Национальный  
исследовательский Томский государственный университет»  
доктор физико-математических наук, профессор  
Ворожцов А.Б.



### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Крука Михаила Николаевича «Минералогия и петрогенезис ультраосновного щелочного карбонатит-фоскоритового комплекса Арбарастах, Республика Саха Якутия» представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Диссертационная работа Крука Михаила Николаевича «Минералогия и петрогенезис ультраосновного щелочного карбонатит-фоскоритового комплекса Арбарастах, Республика Саха Якутия» посвящена особенностям состава, строению, геохронологии и петрогенезису щелочно-карбонатит-фоскоритового комплекса Арбарастах, локализующегося на Алдан-Становом щите. Автором были проведены комплексные исследования с отдельным акцентом на вещественный: минералогический и изотопно-геохимический состав пород, слагающих массив.

Диссертация общим объемом 187 страниц, состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы, 56 рисунков и табличных приложений.

Диссертацию Михаила Николаевича отличает четкая структурированность и последовательность; что немаловажно, также соблюдена лаконичность языка повествования. Отдельное внимание стоит обратить на перечень литературных источников и грамотность их использования, что, безусловно, указывает на высокий уровень теоретической подготовки диссертанта.

Введение включает в себя стандартную информацию, необходимую для понимания актуальности, новизны, научной и практической значимости работы.

Актуальность темы выполненной работы и её связь с соответствующими отраслями науки и практической деятельности.

Исследования, проводимые в данной работе, направлены на реконструкцию генезиса ультраосновного щелочного карбонатит-фоскоритового комплекса Арбарастах. Щелочные карбонатитовые комплексы несут важную информацию о мантийных процессах. В тоже время, генезис щелочных карбонатит-фоскоритовых комплексов на сегодняшний день является дискуссионным; предложенные модели не объясняют пространственную и генетическую связь таких комплексов с ультраосновными лампрофирами и фоскоритами. Таким образом, комплексное изучение пород Арбарастах необходимо для понимания петрогенезиса ультраосновных-щелочных-карбонатит-фоскоритовых комплексов, содержащих ультраосновные лампрофиры.

Научная новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации:

В диссертации представлена петролого-минералогическая характеристика всех разновидностей пород массива Арбарастах, полученная при помощи комплекса современных методов исследования вещества. Впервые представлена детальная информация о эволюции химического состава главных и второстепенных минералов пород комплекса. Дана детальная вещественная характеристика ультраосновных лампрофиров. Получены возрастные интервалы с помощью Ar-Ar и U-Pb методов датирования, которые доказывают связь комплекса Арбарастах с неопротерозойским магматизмом в южной части Сибирского кратона. При помощи исследования Sr-Nd-Pb изотопных систем был определен источник вещества, задействованный в образовании пород комплекса, отвечающий умеренно деплетированной метасоматизированной мантии. Суммируя все полученные результаты, автору удалось построить петрогенетическую модель формирования пород комплекса Арбарастах, включающую ультраосновные лампрофиры и фоскориты.

Значимость для науки и практической деятельности полученных соискателем результатов.

Приведенные геохронологические данные необходимы для понимания геологической истории Алдан-Станового щита, в частности, для характеристики неопротерозойского щелочного магматизма на южной части Сибирского кратона. Представленная модель образования ультраосновных щелочных карбонатит-фоскоритовых комплексов, содержащих ультраосновные лампрофиры, может быть применена при реконструкции генезиса подобных комплексов мира. Карбонатиты и фоскориты комплекса Арбарастах являются перспективными для добычи ряда полезных ископаемых (таких как высокотоксичные и редкоземельные элементы Nb, U, Th и другие), поэтому изучение их минералогических и геохимических особенностей может использоваться для понимания процессов рудообразования.

Фактический материал и методы исследований.

Для решения поставленных задач была использована коллекция образцов комплекса Арбарастах, полученная коллективом лаборатории № 215 ИГМ СО РАН в ходе экспедиции в 2019 году. Использовался комплекс геохронологических, минералогических и петролого-геохимических, включая изотопные (Sr, Nd, Pb) методов исследований.

Личный вклад автора.

Личный вклад автора заключается в первичной пробоподготовке каменного материала для исследования, получении минералогических и петрографических характеристик пород с помощью электронной микроскопии и микрозондового анализа, обработке полученных минералогических, петролого-геохимических и изотопных данных, анализе и интерпретации полученных результатов, построении петрогенетической модели образования комплекса Арбарастах.

Глава 1. Данная глава посвящена литературному обзору существующих представлений о ультраосновных лампрофирах, карбонатитах, фоскоритах и их петрогенезисе. Рассмотрены различные модели, а также приведена краткая информация о геологической изученности объекта исследования. Несомненным достоинством данной главы является достаточное привлечение современных литературных данных за 2017-2023 годы. Однако, учитывая, что комплекс имеет щелочно-основную специфику, возможно, стоило уделить больше внимания щелочному петрогенезису в целом.

Глава 2. В данной главе описываются использованные методы исследования вещества. В целом описанные методы и оборудование полностью отвечает критериям, выдвигаемым современным научным исследованиям вещественного состава, что является показателем высокого уровня проделанной диссертантом работы.

Глава 3. Представляет собой структурированный анализ объекта исследования, описано пространственное положение геологического тела (комплекса), его связь с вмещающими породами и внутреннее строение. Даны представления о форме и размерах комплекса, приведена схема геологического строения. В качестве небольшого замечания стоит отметить отсутствие схемы последовательности образования пород массива.

Глава 4. посвящена геохронологическим исследованиям. В данной главе можно выделить ряд следующих преимуществ: использование двух пар изотопных систем ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , U-Pb) датирование по «сквозному» минералу – флогопиту, доказательства в пользу единовременного образования с другими неопротерозойскими щелочными комплексами юга Сибирского кратона. Однако некоторые моменты являются не до конца ясными. В главе дается понять, что для оценки определения возраста использовалась навеска из «пироксенитов (1 проба)», а, например в главе 5 приводится информация, что «Зачастую пироксениты интенсивно

метасоматизированы. Изменения выражаются в обильной флогопитизации», говорится о флогопите первой (2%) и второй генерации (до 40%), или же при описании флогопит-кальцитовых карбонатитов сказано: «при микроскопическом изучении видно, что флогопит развивается по пироксену». В связи с этим возникает ряд закономерных вопросов. Был ли разделен флогопит первой и второй генерации пироксенитов при отборе монофракции (i)? Минерал из какой генерации использовался для определения возраста (ii)? Могли ли процессы метасоматоза внести изменения в определение абсолютного возраста пироксенов и карбонатитов (iii)? Не отражает ли установленный возраст этап метасоматического преобразования пород комплекса (vi)?

Также нарушена логика повествования, и глава, посвященная геохронологии, более удачно смотрелась бы после минералогических исследований.

Глава 5. Глава посвящена петрографо-минералогической характеристике пород комплекса Арбарастах. Используя оптическую микроскопию, электронно-микроскопические исследования и РСМА-данные, автор проделал наиболее объемное, многоступенчатое исследование, завершением которого служит первое защищаемое положение. На основе полученных данных автор выделил три группы пород – собственно «айллититы», «фоскоритовая группа» с фоскоритами, апатит-доломитовыми карбонатитами, «щелочно-силикатно-карбонатитовая группа» с пироксенитами, ийолитами, нефелиновыми сиенитами и пироксен-флогопитовыми карбонатитами. Последние, по мнению автора, не могли быть «продуктами единой магматической дифференциации, образованы при сложном процессе последовательного импульсного внедрения отдельных порций расплавов», однако далее при интерпретации химического состава апатита, как сквозного минерала автор приводит, «что увеличение содержания фтора в апатитах может указывать на эволюцию фракционировавшей магматической системы», и ведет рассуждение на основе данной гипотезы. Возникает вопросы, какая роль отводится апатиту в вопросах расшифровки процессов внедрения порционных расплавов(i)? Являются ли породы комплекса продуктами единой магматической дифференциации (ii)? Возможно, если автор делает столь мощный упор на минералогические исследования пород комплекса, то не лишним было привлечение других методов изучения вещества.

Глава 6. В главе дается довольно подробная расшифровка химического и изотопного состава (Sr, Nd, Pb) пород комплекса, на основе которого формируется второе защищаемое положение. Главу отличает ряд неоспоримых достоинств: Определение источника вещества для щелочного карбонатит-фоскоритового комплекса Арбарастах основано на тщательном анализе распределения радиогенных изотопов (Sr, Nd, Pb). Эти данные указывают на преобладание компонента с умеренно деплетированными изотопными характеристиками и небольшой

ассимиляцией корового вещества мантийными расплавами при кристаллизации щелочных сиенитов. Одним из значительных достижений является моделирование, которое выявило наиболее реалистичную модель, объясняющую наблюдаемые вариации изотопных характеристик Sr, Nd и Pb в породах комплекса Арбарастах через взаимодействие двух источников: астеносферной и субконтинентальной литосферной мантии.

Замечания рекомендательного характера: 1) на нормированных графиках конфигурации РЗЭ и редких элементов хотелось бы видеть поля распределений составов аналогичных пород юга Сибирского кратона; 2) на диаграммах зависимости  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$  от  $\epsilon\text{Nd}(t)$ ,  $^{6}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  от  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  от  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , (б) и  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  от  $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$  более крупные или контрастные значки улучшили бы восприятие и читаемость диаграммы. Во втором защищаемом положении несколько настораживает формулировка «более примитивный расплав».

Глава 7. В главе автор приводит общую петрогентическую модель формирования пород комплекса Арбарастах. Определено, что щелочно-ультраосновной расплав лампрофирового состава, обогащенный фосфором и карбонатом, мог являться родоначальным и, последующие процессы длительной кристаллизационной дифференциации и ликвации, осложненные контаминацией и метасоматическими процессами, обусловили формирование разнообразия пород комплекса. Важным результатом является разработанная возможная модель формирования не только карбонатитов, но и наиболее «спорных» фоскоритов, механизм происхождения которых пока не подтверждён.

Среди мелких замечаний можно отметить: Незначительные опечатки, случайное попадание в слова латинских символов, различие в шрифтах, мелкие ошибки в графических материалах и в условных обозначениях.

Приведенные замечания, в целом, носят дискуссионный характер и не снижают общей научной ценности диссертации. В целом, стоит отметить её значимость для исследования условий и процессов образования карбонатитов, а также для сырьевой базы редких и редкоземельных металлов, с ними связанных. Диссертация "Минералогия и петрогенезис ультраосновного щелочного карбонатит-фоскоритового комплекса Арбарастах, Республика Саха (Якутия)" является завершённой научно-квалификационной работой, которая по уровню теоретической значимости и новизне соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор, Крук Михаил Николаевич, заслуживает присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография, геохимия и геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв на диссертацию М.Н. Крука обсуждён и одобрен на заседании ученого совета геолого-географического факультета Томского государственного университета (протокол № 30 от 26 сентября 2024 года).

Чернышов Алексей Иванович  
доктор геолого-минералогических наук  
профессор, заведующий кафедрой петрографии ТГУ  
Федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Национальный  
исследовательский Томский государственный университет»



26 сентября 2024 года

Гертнер Игорь Фёдорович  
доктор геолого-минералогических наук  
доцент кафедры петрографии ТГУ  
Федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Национальный  
исследовательский Томский государственный университет»



26 сентября 2024 года

Тишин Платон Алексеевич  
кандидат геолого-минералогических наук  
декан геолого-географического факультета  
Федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Национальный  
исследовательский Томский государственный университет»

Подписи А.И. Чернышов,  
И.Ф. Гертнер, П.А. Тишина  
Секретарь Ученого совета ТГУ  
О.В. Исоченко



26 сентября 2024 года

Я, Чернышов Алексей Иванович, даю согласие на обработку моих персональных данных связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Крука М.Н.

26 сентября 2024 года



Я, Гертнер Игорь Фёдорович, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Крука М.Н.

26 сентября 2024 года



Я, Тишин Платон Алексеевич, даю согласие на обработку моих персональных данных связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Крука М.Н.

26 сентября 2024 года



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Адрес: Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Телефон/факс: (3822) 529 585. E-mail: [rector@tsu.ru](mailto:rector@tsu.ru)