

Отзыв официального оппонента на диссертацию Сапегинной Анны Валерьевны «Термодинамические условия образования коровых ксенолитов из кимберлитовых трубок Удачная и Зарница Сибирского кратона», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 Петрология, вулканология

Изучение структуры, образования и эволюции кратонов входит в число наиболее актуальных и интересных направлений современной петрологии. В представленной работе рассматривается один из аспектов этого направления – определение термодинамического режима нижней континентальной коры, зафиксированного в минеральных равновесиях ксенолитов, вынесенных кимберлитовыми магмами. Выбор объекта исследования представляется удачным, поскольку существующие данные для нижней коры и границы кора-мантия до сих пор недостаточны для построения обоснованных количественных моделей. Это определяет актуальность работы. Фрагменты нижней коры, доставляемые кимберлитами особенно интересны, поскольку они в наименьшей степени затронуты процессами ретроградного метаморфизма. Информативность таких объектов увеличивается, в частности, благодаря совершенствованию аналитических методов и развитию компьютерных методов оценки параметров минеральных равновесий. Детальные исследования ксенолитов могут привести к получению новых неожиданных результатов, что иллюстрирует рецензируемая работа.

Диссертация А.В. Сапегинной является комплексным исследованием, основанном на применении современных методов анализа вещества и термодинамических расчетов фазовых равновесий.

Диссертация состоит из Введения, 6 глав и Заключения. Работу можно разделить на две части. Первая часть (главы 1-4) включает формулировку проблемы на основании литературных данных, характеристику применяемых методов и описание наблюдений и полученных фактических данных.

В обзоре литературных данных приводятся современные результаты изучения строения и состава континентальной коры, а также данные по составу и возрасту коровых ксенолитов из кимберлитов. Аналитические методы включают электронный микроанализ и масс-спектрометрию с лазерной абляцией. Петрографические особенности изученных ксенолитов описаны достаточно детально и хорошо иллюстрированы фотографиями шлифов и снимками на электронном микроскопе. Показаны характерные особенности структур ксенолитов из трубок Удачная и Зарница. Большое внимание уделено

характеристике реакционных кайм и структур распада в пироксенах и оксидных минералах. Необычной особенностью одного из ксенолитов из трубки Удачная является присутствие в значительных количествах редкого минерала кулькента.

Применение локальных методов анализа позволило выявить особенности распределения главных и редких элементов в породообразующих минералах. Рассмотрена зональность минералов ксенолитов в отношении главных элементов. Анализ методом LA ICP MS выявил интересные детали распределения редких элементов в минеральных зернах, в частности, обеднение минералов Nb и Sr относительно других несовместимых элементов.

Общим замечанием к первой части работы является излишний лаконизм и отсутствие некоторых важных деталей. Автор не является специалистом в аналитическом оборудовании, но характеристику точности используемых методов и полученных аналитических данных следовало бы привести. При описании петрографии пород ничего не сказано про вмещающие кимберлиты и их соотношения с ксенолитами. Для полноты картины такая информация была бы полезной. Не хватает также кратких обобщений в каждой из первых четырех глав. Литературный обзор логично было бы завершить постановкой задач исследований, учитывающих состояние изученности проблемы. Следовало бы выделить наиболее существенные общие черты и различия в петрографических особенностях пород и составах минералов. Являются ли изученные ксенолиты обычными для данного класса объектов, или они в чем-то уникальны?

Вторая часть работы (главы 5 и 6) посвящена интерпретации полученных данных и обоснованию петрологических и геодинамических следствий. В пятой главе приводятся наиболее важные результаты работы – оценки термодинамических условий образования метаморфических минеральных ассоциаций. Они получены главным образом с использованием программы *Perple_X*, которая в последние годы становится одним из основных инструментов для моделирования минеральных равновесий. В работе использованы эффективные составы пород, устраняющие влияние вторичных изменений и зональности минералов, что позволило обосновать достоверность полученных оценок. Полученные значения T , P и fO_2 представляются реалистичными. Установлены существенные отличия параметров равновесия ксенолитов трубок Удачная и Зарница. Большое внимание уделено условиям образования симплектитов с учетом химической зональности реакционных кайм. Один из важных результатов касается условий образования реакционных структур. Установлено, что плагиоклаз-ортопироксеновые

симплектиты образовались при высоких температурах и умеренных давлениях, а клинопироксен-кианитовые – при параметрах, близких к условиям метаморфизма. Расчеты в программе *Perple_X* дополнены данными классической минеральной термобарометрии. Оценки, полученные двумя методами, различаются, но эти различия могут быть объяснены эволюцией параметров метаморфизма.

В последней главе рассматриваются приложения полученных данных. В числе интересных и важных результатов можно выделить следующие. Проведено сравнение отношений Fe^{3+}/Fe^{2+} в клинопироксенах, определенных с помощью мессбауеровской спектроскопии и стехиометрических расчетов, и показана сходимость результатов применения двух методов. Принимая во внимание этот результат, автор проводит оценку степени окисления Fe в пироксенах из ксенолитов, анализы которых заимствованы из предшествующих публикаций, и выявляет ее корреляцию с параметрами состава. Рассмотрены различные варианты реакций образования граната и оценена вероятность их протекания. На основании составов и ассоциаций минералов качественно определены особенности флюидного режима. Автор приходит к выводу о низком содержании флюида и низкой активности воды. Показано, что некоторые характерные черты ксенолитов трубки Зарница, отличающие их от ксенолитов из трубки Удачная могут быть связаны с воздействием кимберлитовой магмы.

Имеются замечания к этой части работы. Некоторые из них связаны с упомянутой выше неполнотой приводимой в первой части информации. (1) При расчетах Fe^{3+}/Fe^{2+} на основании стехиометрии пироксена обязательно нужно оценивать точность полученных параметров. При низких содержаниях Fe ошибка значения Fe^{3+}/Fe^{2+} зависит в большой степени от ошибки определения других элементов, особенно Si. Это важно и при анализе данных других исследователей, поскольку нет уверенности, что они обращали особое внимание на точность анализа Si в клинопироксене. Поэтому к зависимостям, приведенным на рис. 6.4, надо относиться с большой осторожностью. (2) Приводимые реакции образования граната возможны и при химическом равновесии реализуются все. Но конкретный механизм связан с кинетическими и другими факторами и может быть установлен только при анализе соотношений минералов в породе. (3) Не совсем понятно, что имеется в виду под «дефицитом» флюида. Для реакций гидратации количество флюида не имеет значения. Важен сам факт наличия или отсутствия флюида, а также его состав. Это определяет химический потенциал воды, который и контролирует образование амфибола и других водных фаз. (4) Интересно было бы рассмотреть вопрос, почему в

одних случаях ксенолиты остаются нетронутыми, а в других – активно взаимодействуют с магмой, фиксируя стадию декомпрессии и разогрева. Для этого пригодились бы наблюдения над взаимоотношениями ксенолитов и вмещающих кимберлитов. (5) Не совсем ясным является параметр содержание O_2 в мас % (табл. 5.2). Служит ли он чисто вспомогательным (виртуальным) параметром или имеет физический смысл? (6) При обсуждении результатов не используются результаты анализа редких элементов в минералах. Между тем, эти данные могли бы быть полезными при обсуждении состава протолитов и взаимодействия ксенолитов с кимберлитовой магмой. (7) Досадная ошибка присутствует в приложении. Таблицы 4.2-4.5 имеют идентичные заголовки («редкие элементы в гранате...»), в то время как, судя по содержаниям элементов, они относятся к разным минералам.

Наиболее важные результаты исследований обобщены в трех защищаемых положениях, которые можно считать достаточно обоснованными собственными наблюдениями в сочетании с анализом литературных данных.

Оценивая работу, как квалификационную, следует отметить что А.В. Сапегина продемонстрировала владение на высоком уровне разнообразными современными методами исследования природных объектов. Используемые ею подходы включают детальные исследования минералов и пород, а также теоретические построения с использованием программ оценки параметров полифазных равновесия на основании термодинамического моделирования. Рассматривая научную сторону работы, можно заключить, что представленная диссертация является законченным научным исследованием, результаты которого важны для геохимии и петрологии нижней коры и вносят значительный вклад в решение актуальной научной проблемы. Высказанные замечания носят во многом рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки исследования. Работа А.В. Сапегинной отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и автор, несомненно, достоин присуждения искомой степени по специальности 1.6.3 Петрология, вулканология. Опубликованные работы и автореферат диссертации в достаточной степени отражают содержание работы.

Главный научный

докт. геол.-мин на

8 ноября 2024г.