

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата геолого-минералогических наук старшего научного сотрудника Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН Бычинского Валерия Алексеевича на диссертацию БАНУШКИНОЙ Софьи Викторовны «**ФАЗОВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ В КВАРЦНОРМАТИВНОЙ ОБЛАСТИ СОСТАВОВ СИСТЕМЫ CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ (CMAS) НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЧЕНИЯ ДИОПСИД – КАЛЬЦИЕВАЯ МОЛЕКУЛА ЭСКОЛА**», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Актуальность работы С.В. Банушкиной несомненна, поскольку экспериментальные исследования твердых растворов фаз и разработка базовых физико-химических моделей являются неотъемлемой составляющей для понимания механизмов процесса глубинного фазообразования.

Клинопироксеновые твердые растворы являются универсальным индикатором физико-химических условий образования пород. В модельной системе CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ (CMAS) наименее изученной является кварцнормативная область составов, уникальность которой была ранее продемонстрирована посредством экспериментальных исследований фазовых преобразований в сечении диопсид CaMgSi₂O₆ – кальциевая молекула Эскола Ca_{0,5}AlSi₂O₆. Тем не менее, многие вопросы, касаемые этого нестехиометричного минерала CaEs, остаются открытыми: является ли CaEs функцией от давления, температуры или валового химического состава; не предложена зависимость состава от (p, T)-параметров; причины распада CaEs также не определены. Экспериментальные данные показали, что фазовые взаимоотношения в кварцнормативной области CMAS-системы достаточно разнообразны, следовательно, требуется более детальное изучение состава твердых растворов и особенностей их плавления в данном сечении.

Целью диссертации являлось экспериментальное определение фазовых взаимоотношений, особенностей плавления и уточнение составов сосуществующих клинопироксенов системы CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ в сечении диопсид – кальциевая молекула Эскола в широком интервале давлений.

Принципиально новым является то, что выполнены эксперименты при низких и высоких давлениях, проведен анализ состава фаз с применением EDS-анализа, определены особенности плавления и уточнены фазовые взаимоотношения. Соискателю удалось установить основные закономерности поведения фаз в сечении диопсид – кальциевая молекула Эскола в широком интервале давлений (от атмосферного до 3,0 ГПа)

и на основе этих данных построить общий тренд эвтектической кристаллизации, что несомненно является достойным результатом.

Несмотря на то, что дополнительно проведенная экспериментальная оценка вязкости расплава диопсида модельного состава, содержащего кристаллы оливина, при высоком давлении и температуре, напрямую не связано с основной задачей, тем не менее, соискателем отмечается, что без этих данных создание геодинамических моделей перемещения расплавов в мантии и земной коре невозможно. Диссертанту удалось получить **крайне важный новый результат**, касающийся изменения вязкости расплава и предсказания возможности взрывного типа извержения. Этот вывод имеет как общенаучное, так и практическое значение.

Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Литературный обзор обширен (193 наименования, ссылки как на современные, так и на фундаментальные работы) и дает достаточно полное представление о проделанной соискателем работе. Основу составляет обширный фактический материал, анализ которого проведен современными методами, что позволяет с уверенностью говорить о надежности полученных результатов.

Представленные во **Введении** защищаемые положения сформулированы строго. Также в данном разделе приводится краткая характеристика работы (актуальность, научная новизна, практическая значимость, цели, задачи, личный вклад автора, публикации по теме диссертации).

В качестве замечания, необходимо указать, что допущена досадная ошибка при переводе атмосферы (атм) в гигапаскалы (ГПа). Вместо 10^{-4} ГПа в тексте работы указана 10^{-3} !

В **Главе 1** приводится подробный исторический обзор по данной тематике и результаты предыдущих исследований.

На Рис.1.1. и несколько раз в **Главе 1** давление приводится в единицах килобар, в то время как в тексте – гигапаскалы. Действительно, Бойд, Ханухова и др. используют в своих работах кбар, однако лучше придерживаться одних единиц, пересчитать не трудно.

Методика проведения экспериментальных исследований в **Главе 2** описана с исчерпывающей подробностью. Несомненно, этот раздел является украшением работы. Выполненный объем экспериментальных работ также вызывает уважение. Представлены все ключевые моменты этого раздела от приготовления исходных веществ до критериев достижения равновесия и особенностей диагностики состава фаз в продуктах экспериментов.

В Главе 3 представлены результаты экспериментальных исследований. Диссертант скрупулезно подошла к данному разделу и отлично представила экспериментальные данные. Более того, было доказано, что солидусные фазы в сечении диопсид - кальциевая молекула Эскола представляют собой остаточные структуры и характеризуют смену условий кристаллизации в области солидуса.

Следует отметить несколько не критичных замечаний:

Стр. 39: «При сравнении текстур полученных образцов в зависимости от начальных (Т, х)-параметров, где х - молекулярное количество CaEs-минерала в исходной смеси, можно проследить некоторую закономерность». «Некоторые» не совсем подходящее по стилю слово.

Стр. 56: «Следует обратить внимание, что полученные особенности подобны образцам при атмосферном давлении. Таким образом, сохраняется общая тенденция, однако на рост зерен дополнительно оказывает влияние параметр давления». Какие особенности подобны?

В Главе 2 и 3 допущена опечатка в обозначении волластонита CaSiO_3 – Wol (рис.2.3 – Гл.2), Wo (рис.3.10 – Гл.3), Woll (везде в тексте, в т.ч. в условных обозначениях).

Также на приложенных фотографиях продуктов экспериментов (Глава 3) - слишком мелкая шкала размерности зёрен, что вызывает трудности при чтении.

На стр. 64. «Содержание Al_2O_3 в клинопироксене зависит от ассоциации существующих фаз». Отмечено, что в присутствии граната количество глинозема в клинопироксене уменьшается – следовало привести ссылку на конкретное значение.

В Главе 4 по результатам экспериментального исследования представлен анализ топологии моновариантных реакций, с участием выделенных фаз. Построены фазовые (Т-х)-диаграммы сечения Di-CaEs. Выделен кварцнормативный эвтектический тренд.

На стр. 79 приводятся лучи, построенные по правилу Скрейнемакерса, и отмечается, что «положение для безкварцевого и безклинопироксенового лучей осуществимо в случае попадания состава жидкости в кальциевую область составов». Напрашивается вопрос, как выглядят лучи в случае попадания жидкости не в кальциевую область составов?

Самостоятельный научный интерес представляет анализ полученных ранее Н.В. Сурковым данных экспериментов, который позволил соискателю С.В. Банушкиной усовершенствовать фазовые диаграммы при давлениях 2,0 ГПа и более. Проведенная диагностика экспериментальных данных подтверждает сосуществование твердых

растворов глиноземистых клинопироксенов с диопсидом и уточнить положение границ между полями (Cpx+Di+Qtz) - (Cpx+Di+Qtz+L).

В Главе 5 раскрывается петрологическое значение полученных результатов.

В данном исследовании большое внимание уделено свободной кремневой кислоте, влияющей на температуру плавления, что свидетельствует о профессионализме соискателя. Несмотря на то, что работа в большей мере экспериментальная, соискатель приходит к глобальным выводам о механизмах эволюции кварцнормативного состава к поверхности земли. Вывод о том, что экспериментально обнаруженное понижение температуры плавления способствует накоплению больших объемов алюмосиликатного расплава, позволяет с физико-химической точки зрения аргументировать генезис крупных интрузивов на поверхности земли. Несомненно, полученные результаты крайне важны для фундаментальной петрологии и вулканологии!

В работе много совершенно нового и оригинального, однако вывод о том, что экспериментальные данные позволяют выявить тренды эвтектической кристаллизации как один из возможных путей эволюции магматического расплава, не нов. Тем не менее, соискателем приводится физико-химическая модель эволюции магматического расплава, что практически является обязательным условием для подобного рода работ. Показано, что плавление в CMAS-системе контролируется лерцолитовым трендом, который реализуется в области ультраосновных и основных составов, щелочноземельным трендом, который представлен серией контролирующих состав расплава эвтектик (состав расплава характеризуется повышенным содержанием CaO и Al₂O₃) и кварцнормативным трендом, определенным на основе экспериментального исследования сечения диопсид - кальциевая молекула Эскола, по мере миграции расплава к поверхности (в его составе отмечено повышенное содержание CaO и SiO₂). Данная физико-химическая модель свидетельствует о непрерывной эволюции остаточного расплава в сторону Qtz-нормативных составов. Полученный же в настоящей работе кварцнормативный тренд моделирует возможную эволюцию Qtz-нормативных составов. При этом диссертант четко отмечает, что полученные результаты не только не противоречат существующим гипотезам генезиса «гранитоподобных пород», а наоборот дополняют их, в частности, согласуясь с гипотезой академика В.С. Соболева о происхождении «кислых магм». Глава 5 дополнена обзором основных гипотез происхождения гранитоидов, что характеризует диссертанта как ответственного исследователя с широким кругозором.

Следует заметить, что в п. 5.4 (стр.97) «практическое значение результатов» стоило наметить дальнейшие этапы развития темы. Работа интересная, хотелось бы увидеть ближайшие задачи.

В Главе 6 представлены экспериментальные результаты и расчетные данные по оценке вязкости диопсидового расплава. Соискателю удалось не только освоить достаточно сложную технику эксперимента, но и доказать, что расплав диопсида в присутствии кристаллов оливина менее 20-30 мас.% имеет низкую относительную вязкость, которая обеспечивает высокую скорость продвижения таких магм.

В заключении соискатель достаточно лаконично изложила основные результаты. Текст диссертации написан вполне научным языком и легко читается. Однако соискатель иногда говорит о себе в третьем лице. Например: «Автором в диссертационной работе упомянуты основные модели генезиса гранитоподобных пород. В настоящем исследовании автор не преследовал цели объяснить происхождение гранитов».

Подводя общий итог, следует признать, что подход соискателя к экспериментальным исследованиям фазовых взаимоотношений, особенностей плавления и составов сосуществующих клинопироксенов модельной системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ в интервале давлений 1 атм - 3,0 ГПа оказался успешным. Диссертант творчески решила комплекс сложных научных задач, который был сформулирован в целевом задании диссертации. Все выше сказанное позволяет оценить представленную работу как самостоятельное научное исследование. Диссертация «ФАЗОВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ В КВАРЦНОРМАТИВНОЙ ОБЛАСТИ СОСТАВОВ СИСТЕМЫ $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (CMAS) НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЧЕНИЯ ДИОПСИД – КАЛЬЦИЕВАЯ МОЛЕКУЛА ЭСКОЛА» содержит решение актуальной научной задачи, отвечает требованиям, установленным ВАК РФ, а соискатель БАНУШКИНА Софья Викторовна заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Текст автореферата полностью отражает содержание всей диссертационной работы.

Бычинский Валерий Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук.

Адрес: 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А, ИГХ СО РАН; сайт ИГХ СО РАН: www.igc.irk.ru; e-mail: val@igc.irk.ru; телефон: 8 902 513 0180.

Я, Бычинский Валерий Алексеевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Бычинский Валерий Алексеевич

