

Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу Смирнова Сергея Захаровича «Режим
магматического этапа развития редкометалльных гранитно-пегматитовых
систем: петрологические следствия», представленную диссертационному
совету Д 003.067.03 на соискание ученой степени доктора геолого-
минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология,
вулканология.

Диссертационная работа С.З. Смирнова направлена на решение фундаментальной проблемы – генезиса гранитных пегматитов. Одной из конкретных целей являлось изучение процесса перехода расплав → флюид, состава и структуры пегматитообразующего флюида и условий кристаллизации минералов пегматита. Не смотря на огромное число работ, посвященных изучению пегматитов, их генезис остается одной из сложных и не решенных проблем геологии. Наиболее дискуссионными являются механизм отделения флюидной фазы на заключительной стадии кристаллизации гранитного расплава, ее консистенция (расплав или флюид) и концентрации растворенных в ней компонентов. В работе органически совмещены экспериментальные исследования и полевые наблюдения. Название диссертации следовало бы уточнить и после двуеточия написать *«экспериментальные исследования и петрологические следствия»*

Актуальность темы. Актуальность диссертационной работы С.З.Смирнова обусловлена тем, что до сих пор остается не решенным вопрос о том, кристаллизовались ли пегматиты из некоего специфического пегматитового расплава или они являются продуктами кристаллизации низко концентрированного водного флюида. В связи с этим особое значение приобретают экспериментальные исследования перехода расплав → флюид и изучение возможности образования концентрированного водного флюида на завершающей стадии кристаллизации гранитного расплава. Выполненные автором модельные эксперименты в щелочных системах подтвердили возможность образования концентрированных сводно-силикатных флюидов.

Научная новизна и исследований и полученных результатов. На основе анализа состава газовой-жидких и расплавных включений в минералах мигматитовых и редкометалльных пегматитов и большого объема экспериментальных исследований автором получены следующие важнейшие результаты:

- впервые в миароловых пегматитах установлены включения с высокими содержаниями борной кислоты и доказано ее активное участие в пегматитовом процессе.

- Экспериментально изучен механизм образования концентрированных водно-силикатных жидкостей и возможная роль их роль в концентрировании рудных элементов.

- установлено, что на заключительной стадии кристаллизации гранитного расплава возникают флюиды экстремально обогащенные водой, фтором, бором и редкими элементами.

- Несомненным достоинством работы является использование автором новейших методов анализа, без которых было бы невозможным получить столь значимые результаты.

Практическая значимость работы базируется на полученных в работе результатов фундаментальных исследований. Данные по содержанию борной кислоты во флюидных включениях может быть использованы при постановке поисковых работ на миароловые пегматиты. Результаты экспериментального изучения фазовых отношений в щелочных силикатных системах с летучими компонентами могут найти применение при разработке методов синтеза ряда силикатных материалов.

Общая характеристика работы. В целом, диссертация С.З. Смирнова объемом 556 страниц состоит из введения, пяти глав и заключения, включает 41 таблицу, 108 рисунков. Список литературы содержит 436 наименований.

Во **Введении** автор диссертации обосновывает актуальность работы, определяет ее цели и задачи, характеризует фактический материал и методы исследования, рассматривает научную и практическую значимость полученных результатов, приводит данные об апробации работы на различных международных и отечественных конференциях и в публикациях, указывает какой личный вклад в исследования внес непосредственно автор работы. Далее во **Введении** формулируются четыре защищаемых положения, которые обоснованно доказываются в последующих 5 главах.

В **Главе 1** (*Фазовые превращения (правильнее – фазовые отношения) в магматических системах, содержащих летучие компоненты: теоретические концепции эволюции флюидонасыщенных гранитных магм*) приводится обзор существующих представлений о пегматитах и условиях их образования. Автор отмечает, что «*Не смотря на то, что происхождению пегматитов посвящено огромное количество работ, до сих пор объектами горячих дискуссий петрологов и экспериментаторов остаются вопросы происхождения и эволюции пегматитообразующих сред, P-T параметров процессов пегматитообразования и последовательность фазовых превращений при формировании пегматитовых тел*». Основной объем **главы 1** посвящен анализу фазовых равновесий в

бинарных и трехкомпонентных водно-солевых системах с солевыми компонентами первого и второго типов. Особое внимание автор уделил критическим явлениям, положению областей расслаивания и составу сосуществующих фаз. В последнем разделе главы приведен обзор экспериментальных исследований в силикатно-солевых системах с водой. В целом **глава 1** является серьезным обобщением, написанным на высоком профессиональном уровне. Часть главы 1, где дается анализ фазовых равновесий может быть рекомендована в качестве учебного пособия для геологических специальностей.

Глава 2 (*Геохимия боросодержащих магматогенных флюидов*) состоит из двух частей. В первой части приведены результаты изучения состава газовой-жидких включений в минералах, отобранных из различных зон гранитных пегматитов содержащих турмалин. Использование автором современных методов анализа позволило ему получить принципиально новую информацию о составе газообразной, жидкой и кристаллических фазах захваченных индивидуальных флюидных включений. Исходя из анализа кристаллических фаз во включениях и валового анализа вещества сделан вывод о том, что в образовании различных петроструктурных комплексов турмалиноносных гранитных пегматитов участвовали борнокислые, хлоридно-борнокислые (с различными В/С1 отношениями), боратно-борнокислые водные растворы и сложные по составу боратные рассолы. Помимо воды, в качестве одного из важнейших летучих компонентов, в них присутствовала углекислота и в виде небольшой примеси - метан. Кроме бора и хлора в качестве летучего компонента могла выступать сера.

Во второй части **главы 2** приведены результаты экспериментальных исследований боросиликатных систем с водой и фтором. Отличительной чертой этих опытов является высокое содержание Na_2O в форме NaOH . Полученные С.З.Смирновым фазовые отношения принципиально не отличаются от результатов экспериментального изучения фазовых отношений в агапитовой области системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ (Анфилов и др. 1972), на которые ссылается автор. В связи с этим было бы интересным сравнить составы жидких фаз, образованных в результате расслаивания в этих системах и поведение B_2O_3 и SiO_2 в боросиликатных и силикатных системах с высоким содержанием щелочей.

Приведенное в **главе 2** первое защищаемое положение следует признать полностью обоснованным

В **главе 3** (*Водно-силикатные жидкости и их роль в формировании позднемагматических парагенезисов гранитных пегматитов*) приведены результаты экспериментального изучения механизма образования концентрированных водно-

силикатных жидкостей в модельных системах, минералов, равновесных с этими жидкостями и распределения ряда рудных элементов и щелочных металлов между силикатной жидкостью и флюидом. При постановке этих опытов С.З. Смирнов предполагал, что они могут моделировать процесс образования высококонцентрированного рудоносного флюида, возникающего на конечном этапе кристаллизации насыщенного летучими компонентами гранитного расплава. Эта не тривиальная идея действительно имеет право на экспериментальную проверку, поскольку мы до сих пор не знаем, что представляет собой этот флюид. Автор задает себе вопрос: чем является этот флюид: гомогенным расплавом, концентрированным раствором или коллоидом. Четкого ответа на него у автора нет. Тот факт, что этот флюид при закалке образует прозрачную стеклообразную массу свидетельствует о том, что при высокой температуре он представлял собой гомогенный, а не коллоидный раствор. Интересные и важные результаты получены автором по распределению многовалентных рудных элементов между водно-силикатной жидкостью и водным раствором. Как и следовало ожидать, в соответствии с принципом кислотно-основного взаимодействия оксиды этих элементов концентрируются в водно-силикатной жидкости.

Что касается механизма образования водно-силикатной жидкости, то он аналогичен механизму образования «тяжелой фазы» при выращивании кристаллов кварца в карбонатных растворах.

Приведенное в конце главы защищаемое положение также следует признать обоснованным.

Глава 4 (*Пегматитовые расплавы и позднемагматическая кристаллизация редкометалльных пегматитов*) посвящена изучению расплавных включений в различных зонах миароловых и редкометалльных пегматитов. Важное значение имеет подробное описание методических подходов, которые были использованы в работе С.З. Сидорова для определения температуры гомогенизации расплавных включений. Тщательный анализ возможных ошибок и выбранная на основе этого последовательность операций позволили автору получить корректные результаты, имеющие фундаментальное значение для понимания особенностей пегматитового процесса. Наибольший интерес представляют данные о составе расплава на Р-Т границе перехода расплав → флюид и особенно высокие содержания воды в расплаве и установленная возможность кристаллизации минералов в гетерогенной среде (стр. 460). Все это позволило автору обосновать 3-е защищаемое положение.

В **главе 5** (*Флюидный режим кристаллизации гранитных и пегматитовых магм*) автор попытался обобщить имеющиеся данные по условиям формирования гранитных

пегматитов и построить модели эволюции расплава и флюида на конечном этапе кристаллизации гранитного расплава. К сожалению даже огромный экспериментальный материал, полученный автором, не позволяет построить достаточно однозначные схемы формирования пегматитов. Приведенное в конце главы 4-е защищаемое положение вытекает из результатов, полученных при изучении расплавных включений и его следует признать обоснованным. Наиболее интересным является высказанное автором предположение о том, что гранитные пегматитообразующие расплавы могут возникать «самостоятельно и не являться продуктом дифференциации очага ординарной гранитной магмы». Это предположение подтверждается установленной нами экспериментально возможностью образования гранитного расплава из флюида, если температура флюида выше температуры плавления гранита (Пуртов, 2002, Анфилогов 2002).

В **Заключении** автор в реферативной форме подводит итог выполненной им работы.

Вопросы и замечания. У оппонента нет принципиальных замечаний к фундаментальной работе С.З. Сидорова. Представляется целесообразным опубликовать работу полностью или по отдельным темам.

Из незначительных замечаний следует отметить, что водно-силикатные жидкости не имеют глобулярной структуры и являются не коллоидами, а истинными концентрированными растворами.

В целом, диссертация С.З. Смирнова представляет собой законченное научное исследование. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Результаты работы являются новыми, оригинальными, не имеют аналогов и своевременно опубликованы в рецензируемых журналах, в том числе в многочисленных международных изданиях с высоким импакт-фактором. Анализ диссертации и опубликованных работ С.З.Смирнова свидетельствует о высокой актуальности темы исследования, обоснованности научных положений и выводов. Практическая и научная значимость работы определяется также престижными грантами, которыми финансово поддерживались проводимые С.З. Смирновым исследования.

Тема и содержание диссертации полностью соответствуют коду специальности 25.00.04 - «петрология, вулканология» по геолого-минералогическим наукам. По актуальности и новизне полученных результатов, уровню их обсуждения и практической значимости диссертация С.З. Смирнова соответствует критериям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842», а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени

доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

22.10.2015.



Заведующий лабораторией минералогии и технологии кварцевого сырья, доктор геол. мин. наук, член-корр. РАН

В.Н.Анфилов

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Начальник отдела кадров
Института минералогии УрО РАН

