

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Смирнова Сергея Захаровича на тему «Флюидный режим магматического этапа развития редкометалльных гранитно-пегматитовых систем, обогащённых фтором и бором: петрологические следствия» по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, представленную диссертационному совету Д 003.067.03.

Работа посвящена физико-химической петрологии пегматитовых систем и базируется на большом природном и экспериментальном материале. Детально рассмотрены процессы поздней дифференциации системы силикат-соль-летучий компонент применительно к генезису гранитных пегматитов. Такой синтез теоретического и экспериментального подхода с природными наблюдениями давно был необходим. Однако, проблемы экспериментального исследования фазовых равновесий в системе силикат-соль-летучий компонент при жидкостной несмесимости замедляли применение топологических моделей таких систем к природным составам.

Актуальность выбранной темы определяется давно назревшей необходимостью приложения теоретических разработок в топологии диаграмм систем с солевыми и летучими компонентами к исследованиям эволюции фазовых равновесий в природных пегматитовых системах. Для системы соль-силикат-летучий компонент образование двух жидкостей имеет термодинамическое обоснование, но большинство экспериментальных данных относятся к простым системам. Для анализа геологических процессов необходимы экспериментальные данные по многокомпонентным системам, которые близки к природным составам. Выполненные автором эксперименты явились необходимой базой для связи теоретических построений и природных наблюдений.

Научная новизна исследований и полученных результатов. Исследования состава флюидных и расплавных включений в минералах

пегматитов и экспериментальные результаты позволили получить новые данные о составе наиболее поздних порций силикатных жидкостей, участвующих в образовании гранитов и гранитных миароловых пегматитов, обогащенных В, F и редкими металлами. Применение современных достижений о топологии диаграмм с летучими компонентами впервые позволило впервые установить фазовое состояние минералообразующей среды при пегматитообразовании.

Практическая значимость работы. Результаты работы развивают теоретические представления об эволюции кислых магм, о происхождении, фазовом состоянии и составе минералообразующей среды, образующихся при переходе от кристаллизации силикатных расплавов к минералообразованию из водных флюидов. Метод контроля герметичности расплавных включений может быть использован в термобарогеохимических исследованиях широкого спектра магматических пород. Результаты исследования свойств водно-силикатных жидкостей при температурах 500-600 °С и 1,5 кбар позволяют использовать их при построении моделей рудно-магматических систем.

Диссертационная работа объемом 556 страниц, состоит из введения, пяти глав и заключения, включает 41 таблицу, 108 рисунков. Список литературы содержит 436 наименований.

Глава 1 "Фазовые превращения в магматических системах, содержащих летучие компоненты: теоретические концепции эволюции флюидо насыщенных гранитных магм" содержит обзор экспериментальных и теоретических исследований двух, трех и многокомпонентных систем, включающих вещества различной летучести. В качестве теоретической основы для физико-химического анализа приняты положения концепции непрерывной топологической трансформации фазовых диаграмм В.М.Валяшко.

Эта глава имеет большой объем (около 100 стр., пятую часть работы!) и более уместна была бы в учебнике основ физико-химической петрологии. Несомненно, такой глубокий и полный анализ фазовых диаграмм с летучими компонентами проведен в геологической работе

впервые. Текст главы оригинален, и содержит ряд интересных новых идей. Автор увлекся топологией фазовых диаграмм бинарных систем с областью несмешиваемости в жидком состоянии. Это очень интересно, но подтверждения наличия таких систем в природе недостаточно. В то же время топология тройных систем (соль-силикат-летучий компонент) предсказывает наличие трехфазового флюидного равновесия (газ и две жидкости - водно-солевая и водно-силикатная), которое является предметом исследования данной диссертации.

Очевидно, автору понравилась идея о низкотемпературном расслаивании водных растворов, обусловленном переходом метастабильных равновесий расслаивания некоторых водно-солевых систем в стабильное состояние. Но для многокомпонентных природных систем этот процесс маловероятен, поскольку добавление третьего и т.д. компонентов обычно сокращает область несмешиваемости.

Вторая глава, "Геохимия борсодержащих магматогенных флюидов" является наиболее сильной частью работы. Она состоит из двух частей. В первой части рассматриваются особенности составов борсодержащих пегматитовых флюидов на основании результатов исследования флюидных включений в кварце различных комплексов турмалиноносных миароловых гранитных пегматитов. Автором были впервые обнаружены включения с высокооборотным флюидом, достигающим насыщения по сассолину при комнатной температуре. Минерал сассолин впервые обнаружен в качестве дочерней фазы первичных флюидных включений в боковом кварце и минералах миарол пегматитов Кукуртского самоцветного узла (Ц. Памир).

Вторая часть второй главы посвящена экспериментам методом искусственных флюидных включений. Эта часть в целом подтвердила уже известные закономерности в системах $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NaF}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$. Вторая глава полностью обосновывает первое защищаемое положение.

В главе 3, "Водно-силикатные жидкости и их роль в формировании поздне- и постмагматических парагенезисов гранитных пегматитов"

приведены результаты гидротермальных экспериментов в системе $\text{SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ с добавлением щелочей, Al_2O_3 , NaF и NaCl . Эта часть диссертации является систематическим изложением результатов большой экспериментальной работы, выполненной с использованием современных методов, содержит новые научные результаты и положения, полученные автором самостоятельно. В главе изложена методика экспериментального исследования и результаты по ряду систем, имеющих важное геологическое приложение. Автор применил разнообразные подходы для исследования закалочных продуктов экспериментов. Эти методические приемы делают результаты полностью достоверными. Результаты, изложенные в третьей главе, полностью обосновывают второе защищаемое положение работы.

В главе 4, "Пегматитовые расплавы и позднемагматическая кристаллизация редкометалльных гранитоидов" приводятся результаты исследования расплавных включений в минералах из различных петроструктурных комплексов миароловых гранитных пегматитов Ц. Забайкалья и Ю-3 Памира, а также в кварце редкометалльных гранитов Sn-W месторождений Пиа Оак (С. Вьетнам) и Тигриного (Приморье). Включения кислых расплавов в породообразующем кварце, содержащие летучие компоненты, представляют особую трудность для термометрических исследований из-за того, что в большинстве случаев нагрев до температур выше $400\text{ }^\circ\text{C}$ приводит к их декрипитации еще до достижения гомогенного состояния. Существенная часть главы посвящена методическим проблемам применения метода гомогенизации при высоком давлении в автоклаве. На примере включений в кварце риолитов Таупо решались следующие вопросы: существуют ли в принципе расплавные включения в кварце, герметичность которых в ходе высокотемпературного прогрева заметно не нарушается; какие факторы способствуют потере включением своей герметичности; каким образом можно надежно оценить интенсивность обмена веществом между конкретным включением и внешней средой. Все эти методические вопросы были решены, что позволило получить новые данные для ряда пегматитовых месторождений.

Решение методических вопросов экспериментальными методами делает полученные результаты достоверными. Материал четвертой главы полностью обосновывает третье защищаемое положение.

В главе 5, "Флюидный режим кристаллизации гранитных и пегматитовых магм" дается обобщение результатов экспериментальных исследований и данных, полученных по включениям минералообразующих сред в минералах миароловых пегматитов и редкометалльных Li-F гранитов. Важнейшим научным достижением работы, изложенным в данной главе, является представление о гетерофазном характере действующих подвижных фаз в пегматитовом процессе. Гетерогенность, которая возникает на этапе эволюции гранитного расплава как ретроградное кипение, эволюционирует вплоть до возникновения трех подвижных фаз. Распределение компонентов между этими фазами, режим их движения, определяет перенос и концентрирование элементов в постмагматическом процессе. Материалы пятой главы полностью обосновывают четвертое защищаемое положение.

Таким образом, **выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации представляются обоснованными.**

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации определяется большим объемом экспериментальных данных, исследованием продуктов экспериментов и природных образцов, решением методических вопросов экспериментальными методами. Исследования выполнены с использованием современной аппаратуры.

Коэффициенты распределения элементов между сосуществующими фазами, полученные автором, имеют большую **значимость для науки и практики**. Они могут быть использованы для реконструкции условий формирования экономически важных месторождений полезных ископаемых, а также решения вопросов дифференциации элементов в земной коре. Коэффициенты распределения и фазовые диаграммы, полученные в работе, имеют фундаментальное значение и составляют основу физико-химических баз данных

В целом, текст диссертации обладает внутренним единством и свидетельствует о большом личном вкладе автора в науку. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Большой объем экспериментальных исследований позволил получить новые и оригинальные данные. Теоретические обобщения работы имеют огромное значение для понимания природных процессов и являются существенным вкладом в физико-химическую петрологию.

К работе имеется **ряд замечаний**:

1. На основании изучения закалочных продуктов экспериментов, автор делает предположение о коллоидном характере водно-силикатной фазы. Такое представление не кажется обоснованным. Действительно, закалка растворов с близким соотношением кремнезема и воды может давать вещества, напоминающие силикагель с большой удельной поверхностью и высокими адсорбционными свойствами. Сомнительно, что такие свойства фазы будут и при параметрах эксперимента, они являются истинными растворами.

2. При анализе диаграмм состояния систем с летучими компонентами особый упор делается на редкий случай замыкания области несмесимости при понижении температуры. Такие диаграммы бинарных систем были топологически выведены В.М.Валяшко. Убедительных доказательств такого поведения природных систем не выявлено. В то же время все наблюдаемые закономерности вполне описываются в рамках тройной системы соль-силикат-летучий компонент.

Эти замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертационная работа Смирнова Сергея Захаровича на тему «Флюидный режим магматического этапа развития редкометалльных гранитно-пегматитовых систем, обогащённых фтором и бором: петрологические следствия» по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать

как научное достижение, что соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 20.06.2011 г. № 475), а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент,

профессор, доктор геолого-минералогических наук, доцент по кафедре,

10 октября 2015 г.

Бычков А.Ю.

Подпись Бычкова А.Ю. удостоверяю:

Зав.кафедрой геохимии, профессор

М.В.Борисов

Декан геологического факультета

академик



Д.Ю.Пушаровский