

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сук Наталии Ивановны на тему
"Жидкостная несмесимость в щелочных магматических системах
(экспериментальные исследования)" по специальности 25.00.04 –
петрология, вулканология на соискание ученой степени доктора геолого-
минералогических наук.

Явления жидкостной несмесимости в магматических системах традиционно привлекали внимание исследователей как возможный механизм магматической дифференциации, который приводит к перераспределению и накоплению элементов и формированию экономически значимых месторождений полезных ископаемых. Увлечение ликвидацией как фактором магматической дифференциации зачастую приводило к использованию его для объяснения эволюции базит-ультрабазитовых магматических комплексов без привлечения достаточных термодинамических обоснований. Такой подход характерен для научной школы академика А.А.Маракушева, что привело к скептическому отношению к идеям о жидкостной несмесимости в магматических системах. Однако, 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, что обосновывает **актуальность выбранной темы**. Экспериментальные исследования жидкостной несмесимости, возникающей в силикатно-солевых расплавах, способствуют выяснению общих закономерностей магматической дифференциации, в результате которой могут формироваться расслоенные интрузивные комплексы и связанные с ними руды.

Диссертационная работа состоит из трех частей, содержащих тринадцать глав, введения, заключения и приложения. Общий объем составляет 348 страниц, включая 109 рисунков, 49 таблиц, приложение, содержащее 22 таблицы, и список литературы из 462 наименований.

Первая часть работы содержит как литературные данные по геологии и петрохимии расслоенных щелочных комплексов и физико-химических условиях их образования, так и собственные данные по составам минералов. Эта часть работы служит для выбора условий для проведения экспериментов. С привлечением собственных и литературных данных оценены температуры и флюидный режим формирования щелочных массивов. Результаты первой части не вошли в защищаемые положения.

Вторая часть работы посвящена проблемам жидкостной несмесимости в природных магматических комплексах по литературным данным. В этой части приводится много ссылок на свидетельства ликвации в магматических системах, но иногда недоказанные. К сожалению, современное состояние проблемы гетерофазных флюидно-магматических равновесий не рассмотрено. Вместе с тем, из этой части делается в целом справедливый вывод о том, что природные магмы представляют собой сложные флюидные системы и большое значение для понимания генезиса магматических пород имеют исследования растворимости летучих компонентов и их влияния на свойства расплавов различного состава. Имеющиеся экспериментальные данные показывают, что в многокомпонентных флюидно-силикатных системах возможны процессы гетерогенизации флюида с отделением двух и более несмесимых фаз. Вторая глава обосновывает постановку задачи и актуальность темы диссертации.

Третья часть работы является систематическим изложением результатов большой экспериментальной работы (более 1000 опытов), выполненной с использованием современных методов. Эта часть работы содержит новые научные результаты и положения, полученные автором

самостоятельно. В этой части в ряде глав изложена методика экспериментального исследования и результаты по ряду систем, имеющих важное геологическое приложение. Эти результаты полностью обосновывают защищаемые положения работы. Особенно важными являются данные по коэффициентам распределения элементов между сосуществующими фазами. Большой объем экспериментальных данных и детальное исследование продуктов экспериментов позволяют утверждать, что результаты являются новыми и достоверными.

В первой главе третьей части работы представлены результаты экспериментального исследования жидкостного расслаивания щелочных силикатно-фосфатных расплавов под давлением воды в модельных системах, задаваемых составами: нефелин-апатит- NaPO_3 , нефелин-калиевый полевой шпат-апатит- NaPO_3 , альбит-апатит- NaPO_3 и альбит-диопсид- NaPO_3 при $T=1250^\circ\text{C}$ и $P=2$ кбар. Эксперименты, проведенные в сухих и водосодержащих системах, демонстрируют инверсию плотностей. Эта инверсия плотностей интерпретируется как закономерности растворимости воды в фосфатной жидкости, однако прямых измерений содержания воды сделано не было. Содержание главы обосновывает **первое защищаемое положение.**

Впервые получены систематические данные по распределению REE (La, Ce), Ti, Zr, W, Sn, Nb, Ta между силикатным расплавом и сосуществующими жидкостями фосфатного и хлоридного состава при высоких температурах и флюидном давлении. Эти результаты позволили сформулировать выводы, имеющие большое значение для понимания генезиса месторождений полезных ископаемых и широкое применение в геологических приложениях. Эти результаты обосновывают **третье защищаемое положение.**

В отдельной главе этой части главы представлены результаты изучения системы щелочной силикатный расплав – низкоконцентрированный водно-солевой (карбонатный, сульфатный,

фторидный) флюид, а также распределения рудных металлов (Ba, Sr, REE) между сосуществующими фазами при $T=1250^{\circ}\text{C}$ и $P=2$ кбар. Результаты свидетельствуют о том, что низкоконцентрированные флюиды изученных составов не могут быть эффективными концентраторами и транспортерами таких элементов, как Sr, Ba и REE. Эти данные в сопоставлении с результатами из предшествующих глав обосновывают **четвертое защищаемое положение.**

Впервые проведено экспериментальное исследование фазовых равновесий в титано-силикатных системах при флюидном давлении. В сухих системах, содержащих Ti, REE (La, Ce), Y, Sr и Nb, наблюдалось образование кристаллов лопарита в силикатной матрице. В этих же системах под давлением водного (или водно-солевого) флюида было обнаружено расслоение расплава на две жидкости: алюмосиликатную, образующую матрицу, и богатую Ti, REE (La, Ce), Y, Sr и Nb с примесью силикатной составляющей. Эти данные обосновывают **второе защищаемое положение.**

Проведены эксперименты по кристаллизации лопарита в широком диапазоне температур. Выявлена зависимость состава лопарита от состава флюида и расплава. Эти результаты составляют **пятое 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 (более 1000 опытов), исследованием продуктов экспериментов и природных образцов. Исследования выполнены с использованием современной аппаратуры, в том числе уникальной экспериментальной установки.

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 системе земная кора - мантия. Коэффициенты распределения и фазовые диаграммы, полученные в работе, имеют фундаментальное значение и составляют основу физико-химических баз данных. Применение геологических выводов из работы имеют ограниченное применение, поскольку выбранные условия экспериментов не отвечают условиям формирования Хибинского массива.

В целом, текст диссертации обладает внутренним единством и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Большой объем экспериментальных исследований позволил получить новые и оригинальные данные.

К работе имеется **ряд замечаний:**

1) Рисунок 1.2.1., подписанный как "соотношение парциальных давлений воды и водорода во флюиде в зависимости от окислительно-восстановительных условий и температуры", составлен с явными ошибками. Логарифм летучести кислорода должен быть отрицательным, а гематит подписан выше линии равновесия.

2) В основу экспериментального исследования ликвационных явлений в щелочных фосфорноносных расплавах легли представления о том, что весь комплекс пород Хибинского массива сформировался в результате единого процесса магматической дифференциации, в котором на заключительном этапе отделились апатит-нефелиновые руды. Первая часть работы, посвященная физико-химическим условиям образования показывает, что температуры формирования массива не превышали 1070°C. В связи с этим возникает вопрос о выборе для экспериментов температуры 1250°C, что соответствует надликвидусной области, а не заключительным стадиям образования. В работе недостаточно обоснована

применимость полученных закономерностей для анализа кристаллизационной дифференциации Хибинского массива.

3) Составы экспериментальных расплавов, изученные микрозондовым методом приведены в пересчете на 100% без учета содержания воды, что затрудняет анализ термодинамических закономерностей межфазового разделения компонентов. Соответственно, изображение составов в проекциях на "силикатные" компоненты, не дает полной картины и затрудняет использование данных для реконструкции природных процессов. Для разных систем и условий составы в этих координатах оказываются сходными и соответствуют природным закономерностям. Но является ли корректным такое сопоставление, остается неясным.

4) При обсуждении распределения флюидных компонентов между силикатным и фосфатным расплавом, нет прямых измерений содержания воды. Выводы делаются только на инверсии плотностей, которая может быть вызвана различными факторами.

5) Определение состава микрокапель титано-силикатного состава, размер которых варьируют от 1 до 3 мкм микрозондовым методом недостаточно обоснован. Составы их корректировались путем вычитания из полученного анализа капель силикатной с последующим приведением результатов к 100%. Коррекция проводилась пропорционально содержанию в анализах капель калия. Такой подход недостаточно обоснован в работе.

Учитывая большой объем экспериментальных исследований, полученных автором, приведенные замечания не снижают общую оценку работы.

Таким образом, диссертация Сук Наталии Ивановны на тему "Жидкостная несмешиваемость в щелочных магматических системах (экспериментальные исследования)" 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.Пущаровский