

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Соколовой Екатерины Николаевны «Физико-химические условия кристаллизации гранитных расплавов редкометалльных дайковых поясов Южного Алтая и Восточного Казахстана»», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – Петрология, вулканология.

Актуальность избранной диссертантом темы исследований определяется необходимостью решения вопроса генезиса этих уникальных образований, выявления их связи с очагами гранитоидного магматизма, изучению условий формирования их высокой редкометалльности. Решение этих вопросов позволяет получить новые фундаментальные знания о петрогенезисе и рудоносности редкометалльным магматических образований.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем 182 страницы, включая 21 таблицу, 72 рисунка и список литературы из 191 наименования, в том числе 65 зарубежных публикаций.

Целью исследований диссертанта явилось определение условий кристаллизации и эволюции магм, сформировавших Восточно-Калгутинский (Южный Алтай), Чечекский и Ахмировский (Восточный Казахстан) редкометалльные дайковые пояса, и установление их рудогенерирующего потенциала.

Для достижения цели автором решаются четыре основные задачи:

- 1) определение минералого-геохимических особенностей дайковых пород;
- 2) определение особенностей химизма расплавов и сопутствующих флюидов по включениям в минералах;
- 3) разработка метода гомогенизации включений водонасыщенных гранитных расплавов с контролем их герметичности. Определение температуры и давления кристаллизации и эволюции магм по включениям минералообразующих сред;
- 4) выявление признаков, определяющих рудный потенциал магм изучаемых дайковых поясов.

В основе диссертационной работы лежат материалы минералого-геохимических коллекций образцов и валовых проб, отобранных в ходе полевых экспедиционных работ, в том числе с участием автора в 2007–2013 годах.

Соискателем выполнен комплекс современных минералого-петрографических, термобаро-геохимических и аналитических методов. В том числе: рентгеноспектральный микроанализ, вторично-ионная масс-спектрометрия, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией, получены катодлюминесцентные изображения вкрапленников кварца, проведена криотермометрия флюидных включений, сняты спектры комбинационного рассеяния флюидных и расплавных включений. При этом использованы авторские разработки по изучению температуры образования расплавных включений под давлением тяжелой воды. Исследования выполнены в ведущих исследовательских лабораториях института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск), аналитическом центре ИГХ СО РАН (Иркутск) и Ярославском филиале ФТИАН РАН. Таким образом достоверность выполненных аналитических исследований не вызывает сомнений.

При обработке полученных данных использовались методы анализа и обобщения известных результатов исследований, регрессионно-корреляционного анализа и математической статистики, построения графиков зависимости и тройных диаграмм, характеризующих состав и условия формирования изученных образований.

Научная новизна и личный вклад автора диссертации включают следующие позиции:

- впервые установлено, что формирование вкрапленников редкометалльных дайковых пород Южного Алтая и Восточного Казахстана происходило из расплавов с высокими содержаниями редких литофильных элементов;
- с участие автора разработана новая методика прогрева расплавных включений (РВ) под давлением D₂O с последующим контролем герметичности включений и корректировки температуры гомогенизации с учетом давления. Что позволило получить более точные значения температуры кристаллизации;
- проведенные впервые детальные исследования флюидных включений в минералах Чечекского, Ахмировского и Восточно-Калгутинского дайковых поясов позволили определить особенности состава и свойства магматогенного флюида в процессе кристаллизации редкометалльных магм;
- впервые оценена роль флюидно-магматического взаимодействия в формировании разнообразия составов расплавов и пород Восточно-Калгутинского дайкового пояса;
- в породах Восточно-Калгутинского пояса впервые обнаружен гердерит CaBe[PO₄](F,OH).

Диссертантом представлено три защищаемых положения.

Первое защищаемое положение: *«Минеральный состав пород изученных дайковых поясов определяется геохимической спецификой сформировавшихся их водонасыщенных редкометалльных магм. Материнские магмы онгонитов Восточного Казахстана были обогащены фтором и оловом, что привело к образованию топаза, высокофтористых литиевых слюд и касситерита. Магмы Восточно-Калгутинского дайкового пояса были обогащены фосфором и вольфрамом, что обусловило широкое распространение апатита в ассоциации с монтебразитом и гердеритом, кристаллизацию низкофтористого литиевого мусковита и появление вольфрамита».*

В качестве обоснования первого защищаемого положения проведена оценка содержания ряда характерных элементов в породах Восточно-Калгутинского, Ахмировского и Чечекского дайковых поясов и их минерального состава. Показано, что специфика химического состава пород проявляется на минеральном уровне. В редкометалльных дайках Восточно-Калгутинского пояса при высоком содержании фосфора и умеренном содержании фтора характерно обилие апатита и наличие литий содержащего мускавита, монтебразита, гердерита, вольфрамита и танталит-колумбита. А редкометалльно-фтористые особенности даек Чечекского и Ахмировского поясов проявляются наличием литиевых слюд, вплоть до лепидолита, топаза и касситерита. Выполнены детальные исследования РВ, что позволило установить основные характеристики магматических расплавов в начале их кристаллизации. Доказано, что расплавы, из которых происходила кристаллизация минералов вкрапленников, были изначально редкометалльными.

Необходимо отметить, что сопоставление РВ и дайковых пород показывает значительные отличия в их составе по некоторым параметрам. Так отмечается обедненность РВ Чечекского дайкового пояса редкоземельными элементами (не более 2-3 г/т, за исключением обр. 1010/10, табл.8). Существенные отличия наблюдаются и в содержании индикаторных радиоактивных элементов (U, Th) – в породах их содержание близко к кларку и торий-урановое отношение составляет 1,2-1,7, а в РВ содержание Th заметно меньше при более высоком содержании U, что приводит к резкому снижению торий-уранового отношения до 0,02-0,5. Таким образом, если по основным петрогенным и минералообразующим элементам автором отмечено сходство состава дайковых пород и РВ, то по содержанию редкоземельных и радиоактивных элементов мы наблюдаем значительные отличия. К сожалению, это обстоятельство никак не объясняется.

В целом можно заключить, что защищаемое положение полностью доказано приведенным в диссертации фактическим материалом, отличается несомненной фундаментальной значимостью и ясным практическим смыслом.

Второе защищаемое положение: *«Разнообразие составов даек в пределах поясов и отдельных тел связано с химической неоднородностью магм в камерах, где происходила кристаллизация вкрапленников. Неоднородность состава даек Чечекского пояса обусловлена внедрением последовательных дифференциатов одной и той же магмы, а даек Восточно-Калгутинского пояса – как кристаллизационной дифференциацией магмы, так и ее взаимодействием с водными флюидами».*

Выполненные соискателем исследования особенностей химического состава пород дайковых поясов и минералов-вкрапленников легли в основу второго защищаемого положения.

Установлены отличия в содержании в породах некоторых петрогенных элементов (SiO_2 , Al_2O_3), редких щелочей, F, P, Ta, Sn, PЗЭ и др. Они отражаются и в вариации составов породообразующих минералов и минеральных ассоциаций. Сопоставление данных по составу минералов-вкрапленников и РВ позволяет соискателю обосновать вывод, что различие состава дайковых поясов обусловлено процессами эволюции магматических очагов, а не спецификой наложенных метасоматических процессов.

Автор подчеркивает ведущую роль процессов кристаллизационной дифференциации. В доказательство этого тезиса приводятся индикаторные отношения K/Rb и Nb/Ta в дайках Чечекского и Ахмировского поясов, которые выстраиваются в линейный тренд от редкометалльных к ультраредкометалльным породам.

Детальный анализ наблюдаемых отличий в характере распределения элементов (в частности Sr) в породах и минералах Восточно-Калгутинского пояса соискатель объясняет поступлением вещества из «внешнего», или «дополнительного источника» (дисс., стр. 144). В качестве такого источника элементов рассматривается дополнительная флюидная фаза (из внешнего источника). В доказательство этого помимо аналитических и расчетных данных приводятся материалы полевых наблюдений о текстурно-структурных характеристиках пород. Высказано предположение об участии в формировании вкрапленников минералов в крупнопорфировых разностях пород флюидной фазы, которое подтверждается ссылкой на работу американских ученых (Jahns, Burnham, 1969).

Знание иностранной литературы, несомненно, является положительным моментом, но в первую очередь следовало сослаться на работу Шахова Ф.Н., написанную за 35 лет

до публикации вышеуказанных авторов. В статье «Материалы к геологии месторождений вольфрама и бериллия на Алтае» (Проблемы Советской геологии, 1934, Т. IV, № 9) **Феликс Николаевич**, обсуждая проблему формирования порфиридных гранитов, предполагает *«Кажется более правильным рассматривать эти породы как производные обогащенных газовой фазой участков магматического бассейна, естественно, особенно часто образовывавшихся в апикальных частях многочисленных сателлитов»* (с. 10-11). И далее, после стройного логического обоснования, он делает заключение – *«Таким образом, структура порфиридного гранита является выражением обогащенности магмы газами ...»* (с. 11).

Из изложенного в главах 3-5 материала видно, что второе защищаемое положение представляется обоснованным фактическим материалом, хорошо иллюстрировано многочисленными диаграммами и таблицами и в целом доказано.

Третье защищаемое положение: *«Кристаллизация вкрапленников редкометалльных дайковых пород поясов Южного Алтая и Восточного Казахстана происходила в глубинных магматических камерах в присутствии водного флюида. Кристаллизация расплавов при формировании дайковых поясов Восточного Казахстана протекала при температуре 560-605 °С и давлении 3,6-5,3 кбар, а Восточно-Калгутинского пояса – при температуре 565-620 °С и давлении 4,5-6 кбар».*

Обоснование третьего защищаемого положения дано в отдельных разделах глав 3, 4 и обобщено в 5-ой главе.

Для выяснения условий кристаллизации расплавов автором применен современный комплекс тончайших методик по изучению расплавных и флюидных включений с привлечением петрографо-минералогических исследований. При этом была применена новая методика исследования РВ под давлением тяжелой воды (D₂O), что позволило получить более точные значения температуры кристаллизации.

По результатам изучения тщательно отобранных образцов и подробнейшего обсуждения полученных результатов установлены термобарические условия кристаллизации расплавов. Породы дайковых поясов Восточного Казахстана начинали кристаллизоваться при температуре 560-605 °С и давлении 3,6-5,3 кбар, а породы Восточно-Калгутинского пояса – при температуре 565-620 °С и давлении 4,5-6 кбар. В последнем случае более высокое давление объясняется большей глубиной образования РВ, которая по геолого-геофизическим данным оценивается величиной 10-11 км.

Проведенные исследования иллюстрированы многочисленными графиками, диаграммами, фотографиями отличного качества.

Необходимо заключить, что третье защищаемое положение, в достаточной мере обосновано фактическим материалом и может считаться доказанным.

В заключении соискателем анализируются полученные термобарогеохимические характеристики дайковых образований в качестве критериев рудоносности, что подчеркивает важную практическую направленность выполненных исследований. При этом диссертант учитывает структурно-тектонические факторы и продолжительность кристаллизации, способствующие развитию флюидно-магматических систем с формированием на заключительных этапах рудоносных жил и метасоматитов.

Следует отметить, что при обсуждении источника рудоносных флюидов (раздел 5.6.2) соискатель акцентирует внимание только на отделении флюида (летучих) при кристаллизации магмы и соответственно формировании более поздних металлоносных гидротерм. Но затем, в представленной модели формирования дайковых поясов, в частности Калгутинской РМС, подчеркивается роль трансмагматических флюидов (с. 164) в развитии системы и формировании ее рудоносности. В итоге оппоненту не ясно, что в данном случае играло ведущую роль при формировании рудоносного потенциала – характер процессов кристаллизационной дифференциации, или активность трансмагматических флюидов?

В качестве основных замечаний и рекомендаций по диссертационной работе и автореферату необходимо отметить следующее:

- 1) по мнению оппонента не совсем удачна структура автореферата. Защищаемые положения воспринимаются автономно от основного текста, в котором последовательно излагается краткое содержание всех глав диссертации и где рассредоточена доказательная база;
- 2) автор в расчетах использует данные (кларки) А.П. Виноградова, полученные (опубликованные) в 1962 г. В последующие годы в связи с улучшением аналитической базы, совершенствованием представлений о составе и структуре земной коры, значительным увеличением количества определений эти данные неоднократно уточнялись. В настоящее время широко используются кларки, приведенные в работах Тейлора С.Р. и Мак-Леннана (1988), Григорьева Н.А. (2003). Оппонент рекомендует автору диссертации познакомиться с этими работами;
- 3) в диссертационной работе мало уделено внимания составам флюидов, которые во многом отражают (определяют) физико-химические условия кристаллизации расплавов. Обсуждается содержание водных компонентов, упоминается о наличии метана, углекислого газа и азота, делается вывод о присутствии метана в магматическом расплаве (с. 65), но обобщение этих данных не проведено.

Отмеченные замечания и недостатки не снижают общего хорошего впечатления от предлагаемой к защите работы. Многие из них имеют рекомендательный характер.

Оценивая диссертацию в целом, можно констатировать, что она представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований, решены задачи, имеющие существенное значение для Наук о Земле в области исследования процессов магматизма, вещественной эволюции магматических расплавов и флюидов. Диссертация написана единолично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для защиты, имеет внутреннее единство и свидетельствует о существенном личном вкладе автора в науку. Полученные соискателем новые данные позволяют создать геолого-генетические модели формирования редкометалльных дайковых поясов Южного Алтая и Восточного Казахстана, обосновать петрологические критерии их рудоносности.

Основные научные результаты широко апробированы. Они изложены в 21 публикации, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК, докладывались на 7 международных и Всероссийских конференциях и симпозиумах.

Содержание диссертации соответствует специальности 25.00.04 – Петрология, вулканология (п. 2, 3 Паспорта специальности).

Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает наиболее важные ее положения.

На основании вышеизложенного считаю, что представленная к защите работа **Соколовой Е.Н. «Физико-химические условия кристаллизации гранитных расплавов редкометалльных дайковых поясов Южного Алтая и Восточного Казахстана»** является завершенной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям п. 9-14 Раздела II «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 г., а ее автор – **Соколова Екатерина Николаевна** заслуживает присвоения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – Петрология, вулканология.

Заведующий кафедрой общей геологии и
землеустройства ФГБОУ ВПО
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор

Поцелуев Анатолий Алексеевич
21 апреля 2014 г.

634050, Томск, пр. Ленина, 30
Тел. (3822) 606211, E-mail: poceluevaa@tpu.ru

Подпись Поцелуева А.А. заверяю.

Учёный секретарь

Томского политехнического университета



Ананьева О.А.