

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.067.03 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В. С. СОБОЛЕВА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело N \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 13 ноября 2015 г. № 03/9

О присуждении **Смирнову Сергею Захаровичу**, гражданину РФ, ученой степени **доктора геолого-минералогических наук**.

Диссертация **«Флюидный режим магматического этапа развития редкометалльных гранитно-пегматитовых систем, обогащённых фтором и бором: петрологические следствия»** по специальности 25.00.04 - «петрология, вулканология» принята к защите 07.08.2015, протокол № 03/7 диссертационным советом Д 003.067.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3). Приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Смирнов Сергей Захарович, 1966 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени **кандидата геолого-минералогических наук «Включения минералообразующей среды в синтетических и природных драгоценных камнях»** защитил в 1997 году, в диссертационном совете, созданном на базе Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН, работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Диссертация выполнена в лаборатории термобарогеохимии (№436) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)

**Официальные оппоненты:**

**Летников Феликс Артемьевич**, доктор геолого-минералогических наук, академик, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры СО РАН (г. Иркутск), лаборатория петрологии, геохимии и рудогенеза, главный научный сотрудник;

**Анфилов Всеволод Николаевич**, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки Институт минералогии Уральского отделения РАН (г. Миасс), заведующий лабораторией минералогии и технологии кварцевого сырья;

**Бычков Андрей Юрьевич**, доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова" (г. Москва), кафедра геохимии геологического факультета, профессор, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН** (г. Москва), в своем положительном заключении, подписанном **Ярмолюком Владимиром Викторовичем**, доктором геолого-минералогических наук, академиком, заведующим лабораторией редкометалльного магматизма и **Андреевой Ириной Анатольевной**, кандидатом геолого-минералогических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории редкометалльного магматизма указала, что диссертационная работа направлена на изучение флюидного режима магматического этапа развития редкометалльных гранитно-пегматитовых систем, с особым акцентом на изучение минералообразующих сред и экспериментальные исследования. В отзыве отмечено, что результаты, изложенные в работе, позволяют характеризовать ее как законченный научный труд, внесший вклад в решение крупной научной проблемы: становления гранитных пегматитов и связанного с ними оруденения. В заключение эксперты ведущей организации заявляют, что рассматриваемая работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Основные результаты исследований, позволившие сформулировать защищаемые положения, опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК.

Соискатель имеет 116 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 59 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, 17, из них наиболее значимыми являются:

1. **Смирнов С.З.**, Перетяжко И.С., Прокофьев В.Ю., Загорский В.Е., Шибанин А.П. Первая находка сассолина ( $H_3BO_3$ ) во флюидных включениях в минералах // Геология и Геофизика, 2000, т. 41, № 2, с 194–206
2. **Smirnov S.Z.**, Thomas V.G., Demin S.P., Drebushchak V.A. Experimental study of boron solubility and speciation in the  $Na_2O-B_2O_3-SiO_2-H_2O$  system // Chemical Geology, 2005, 223, pp. 16-34
3. Peretyazhko I.S., Zagorsky V.Ye., **Smirnov S.Z.**, Mikhailov M.Y. Conditions of pocket formation in the Oktyabrskaya tourmaline-rich gem pegmatite (the Malkhan field, Central Transbaikalia, Russia) // Chemical Geology, 2004, 210, pp. 91 - 111
4. Перетяжко И.С., **Смирнов С.З.**, Котельников А.Р., Котельникова З.А. Экспериментальное изучение системы  $H_3BO_3-NaF-SiO_2-H_2O$  при 350—800°C и 1—2 кбар методом синтетических флюидных включений //

- Геология и геофизика, 2010, т. 51, № 4, с. 450-472
5. **Смирнов С.З.**, Томас В.Г., Соколова Е.Н., Куприянов И.Н. Экспериментальное исследование герметичности включений водосодержащих силикатных расплавов при внешнем давлении D<sub>2</sub>O при 650 °С и 3 кбар // Геология и геофизика, 2011, т.52, №5, сс. 690-703
  6. **Smirnov S.Z.**, Thomas V.G., Kamenetsky V.S., Kozmenko O.A. Hydrosilicate liquids in the system Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O with NaF, NaCl and Ta: evaluation of their role in ore and mineral formation at high T and P // Петрология, 2012, т. 20, №3, с. 300-314
  7. Томас В.Г., **Смирнов С.З.**, Козьменко О.А., Дребущак В.А., Каменецкий В.С. Образование и свойства водно-силикатных жидкостей в системах Na<sub>2</sub>O–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O и гранит–Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O при 600 °С и 1.5 кбар // Петрология, 2014, Т.22, №3, С. 327-344
  8. **Смирнов С.З.**, Бортников Н.С., Гоневчук В.Г., Гореликова Н.В. Составы расплавов и флюидный режим кристаллизации редкометалльных гранитов и пегматитов тигриного Sn-W месторождения (Приморье) // Доклады РАН, 2014, Т.465, №1 С. 95-100
  9. **Смирнов С.З.** Флюидный режим кристаллизации водонасыщенных гранитных и пегматитовых магм: физико-химический анализ // Геология и геофизика, 2015, Т. 56, №9, С. 1643-1663.

На диссертацию и автореферат поступило 16 отзывов (все положительные из них 2 – без замечаний) от: 1. Возняк Д.К, д.г.-м.н., зав. лаб. и Кульчицкой А.А., д.г.-м.н., в.н.с (Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины); 2. Гвоздева В.И., д.г.-м.н., зав. лаб. и Пахомовой В.А., к.г.-м.н., в.н.с. (ДВГИ ДВО РАН); 3. Дьячкова Б.А., д.г.-м.н., профессора, академика НА Респ. Казахстан (Вост.-Каз. государственного техн. ун-т, Казахстан); 4. Солововой И.П., д.г.-м.н., в.н.с. (ИГЕМ РАН); 5. Чевычелова В.Ю., д.г.-м.н., в.н.с. и Редькина А.Ф., к.х.н., с.н.с. (ИЭМ РАН); 6. Каменецкого В.С., к.г.-м.н., профессора (Университет Тасмании, Хобарт, Австралия); 7. Боровикова А.А., к.г.-м.н., с.н.с. (ИГМ СО РАН); 8. Гоневчука В.Г., д.г.-м.н., в.н.с. (ДВГИ ДВО РАН); 9. Матковского О.И. д.г.-м.н., зав. каф. и Бакуменко И.Т., к.г.-м.н., доцента (Львовский нац. ун-т, Украина); 10. Алексеева В.И., д.г.-м.н., доцента (Нац. мин.-сырьевой университет «Горный»); 11. Антипина В.С., д.г.-м.н., г.н.с. (ИГХ СО РАН); 12. Лебедева В.И., д.г.-м.н., науч. рук. (ТИКОПР СО РАН); 13. Кривовичева С.В., д.г.-м.н., зав. каф. (СПбГУ); 14. Сырицо Л.Ф., д.г.-м.н., профессора и Баданиной Е.В., к.г.-м.н., доцента (СПбГУ); 15. Коноваленко С.И., к.г.-м.н., зав. каф. (ТГУ); 16. Гринева О.М., д.г.-м.н., доцента, зав. лаб. (ТГУ). В отзывах отмечено, что Смирнов С.З. развил новое направление флюидологического изучения особенностей формирования гранитоидных систем, обогащенных бором, им сделано открытие нового типа борнокислых и боратно-борнокислых водных флюидов, определен состав наиболее поздних

порций силикатных жидкостей, участвующих в образовании гранитов и пегматитов, показана роль водно-силикатных жидкостей в процессах образования пегматитов и транспорте редких металлов, сформулированы новые подходы к обоснованию модели эволюции гранитных магм, обогащенных летучими и флюсующими компонентами (Мотковский О.И. и Бакуменко И.Т., Боровиков А.А., Чевычелов В.Ю. и Редькин А.Ф., Соловова И.П., Гвоздев В.И. и Пахомова В.А., Возняк Д.А. и Кульчицкая А.А., Кривовичев С.В., Гринев О.М., Сырицо Л.Ф. и Баданина Е.В., Антипин В.С.). В отзыве В.С. Каменецкого подчеркивается, что работа Смирнова С.З. первая по своему комплексному подходу, объему проведенных исследований для данных систем. В качестве замечаний отмечается, что автор недостаточно внимания уделил геологической характеристике выбранных объектов (Гринев О.М., Гоневчук В.Г.), отмечается дискуссионность вопроса перехода от магматической кристаллизации к гидротермальной (Гоневчук В.Г.), задаются вопросы об источниках и причинах высоких концентраций бора в магматогенных флюидах (Антипин В.С.), указывается на недостаточную проработку проблемы разобщенности редкометалльных гранитов и гранитных пегматитов с редкометалльной минерализацией (Алексеев В.И., Сырицо Л.Ф. и Баданина Е.В.).

Выбор официальных оппонентов обосновывается их большим опытом работы и достижениями в исследованиях флюидного режима и процессов кристаллизации водонасыщенных гранитных и пегматитовых магм, отраженными в их публикациях. Выбор ведущей организации обосновывается наличием подразделений и высококвалифицированных научных сотрудников, работающих в областях науки, соответствующих теме диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

была **разработана** новая концепция постепенной трансформации силикатного расплава в концентрированный водный раствор через состояние водно-силикатной жидкости, позволяющая усовершенствовать модели развития очагов водонасыщенных редкометалльно-гранитных и пегматитовых магм; экспериментально **обоснованы** механизмы образования водно-силикатных жидкостей, установлено, что они могут осаждаться из водных флюидов, и являются концентраторами редких металлов, фтора и бора; **введены** новые трактовки генезиса силикатных жидкостей в флюидонасыщенных гранитных системах, обогащенных фтором, бором и редкими металлами, предполагающие, что они являются промежуточным продуктом перехода пегматитового расплава в состояние концентрированного водного раствора силикатов; **доказано** существование особых борнокислых и боратно-борнокислых магматогенных флюидов в природных системах; **разработана** новая экспериментальная методика прогрева и гомогенизации расплавных включений под давлением

тяжелой воды, позволяющая выявить качественно новые закономерности эволюции флюидонасыщенных гранитных магм; **предложена** оригинальная научная гипотеза, объясняющая, в каких случаях развитие очага водонасыщенной редкометалльно-гранитной магмы приводит к образованию пегматитов, а в каких к зарождению редкометалльных рудно-магматических систем.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны следующие положения:**

1. Борная кислота и ее солевые производные являются важнейшими компонентами магматогенных пегматитовых флюидов. Низкие концентрации в растворах включений хлора и фтора, наличие дочерних кристаллов пентаборатов предполагают, что среда при высоких P-T параметрах имела слабощелочной характер. В зависимости от температуры и щелочности флюида бор в гидротермальных растворах может присутствовать в виде борной кислоты, щелочно-боратно-силикатных и щелочно-полиборатных формах. Наличие в них фтора приводит к появлению фторзамещенных щелочно-боратных комплексов.

2. Водно-силикатные жидкости в экспериментах образуются либо путем постепенной трансформации из силикатных расплавов, либо осаждением из водного флюида, богатого щелочами, фтором и бором, имеют консистенцию коллоидных растворов – гелей, и обладают способностью к экстремальному концентрированию редких литофильных элементов, фтора и бора. Водно-силикатные жидкости являются средой кристаллизации кварца и силикатных минералов, не обладают способностью к быстрой закалке и могут существовать при параметрах, характерных для низкотемпературных гидротермальных процессов.

3. Наиболее поздние силикатные жидкости заключительных стадий магматической кристаллизации редкометалльных гранитов и турмалиноносных миароловых гранитных пегматитов экстремально обогащены водой, фтором, бором и редкими литофильными элементами. Они формируют преимущественно слюдистые парагенезисы, богатые рудной минерализацией (касситерит, танталониобаты, лепидолит, поллуцит и др.), приуроченные к миароловым полостям.

4. При образовании миароловых пегматитов, богатых фтором, бором и редкими щелочами, кристаллизация происходит в гетерогенной среде. Образование пегматоидных агрегатов, околомароловых ассоциаций и друзового комплекса, изученных в работе пегматитов, происходит при 600–650°C и 2,8–3,8 кбар из водно-силикатной жидкости и водного флюида. Состав и рудный потенциал этих парагенезисов определяется тем, что водно-силикатные жидкости аккумулируют F, Ca, K, Ta, Nb, в то время как водный флюид концентрирует B, Sb, As, W. Такие элементы как Na, Be и Cs могут накапливаться как в водной, так и в силикатной фазе.

**Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов исследования вещества, включая**

новейшие методы термобарогеохимического исследования включений, рамановскую спектроскопию, ИК-спектроскопию с преобразованием Фурье, электронную микроскопию, микрозондовый анализ, вторично-ионную масс-спектрометрию (ВИМС), масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) с лазерной абляцией, современные методы экспериментальных исследований в автоклавах и установках высокого давления. Экспериментально изучены природа и свойства водных и силикатных минералообразующих сред при температурах 450 – 800°C и давлениях от 1 до 2 кбар близких к переходу флюидонасыщенных гранитных систем от магматической кристаллизации к гидротермальной.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем,** что в нем разработаны новые методы определения содержания бора во флюидных включениях и прогрева расплавных включений в автоклаве с последующим контролем их герметичности; приведены спектры комбинационного рассеяния кристаллических фаз флюидных включений; предложены схемы фазовых преобразований редкометалльно-гранитной магмы при переходе от магматической кристаллизации к гидротермальной. Эти методы и результаты могут быть использованы для получения принципиально новой информации по флюидным и расплавным включениям в других объектах и послужить основой для развития моделей зарождения редкометалльных рудно-магматических систем, связанных с гранитоидным магматизмом.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила следующее.

Результаты экспериментальных и аналитических работ получены на современном сертифицированном оборудовании. Термобарогеохимические исследования включений минералообразующих сред проводились методами микротермометрии при температурах от -180 до +300 °С на микротермокамере Linkam THMSG-600 и криокамере конструкции Л.Ш. Базарова. Прогрев включений до температур 750°C и более проводился в термокамере конструкции В.С. Шацкого–М.Ю. Михайлова и конструкции А.А. Томиленко–Н.Ю. Осоргина. Для предотвращения разгерметизации расплавных включений при высоких температурах была специально разработана методика прогрева в автоклаве методом закалки с последующей проверкой герметичности включений. Микроаналитические исследования включений, минералов и продуктов экспериментов проводились с помощью методов ИСП-МС (масс-спектрометры ELEMENT фирмы Finnigan Mat (ИГМ СО РАН), HP4500 и Agilent7500 (Университет Тасмании, Хобарт, Австралия)), ВИМС (ионный зонд Cameca ims-4f (филиал Физико-технологического института РАН (г. Ярославль)), рентгеноспектрального анализа методом ЭДС на сканирующих электронных микроскопах Jeol JXM-5, LEO 1430 VP, Tescan Mira 3 LMU (ИГМ СО РАН) и FEI Quanta 600 MLA (Университет Тасмании, Хобарт, Австралия), методом ВДС на рентгеноспектральных микроанализаторах Cameca Camebax-Micro, Jeol JXA-

8100 (ИГМ СО РАН), Camesa SX-100 (Университет Тасмании, Хобарт, Австралия), Jeol JXA-8200 (Институт химии имени Макса Планка, Майнц, Германия), рамановской спектроскопии на приборах X-Y Dylor, Jobin Yvon U-1000 и Horiba Lab Ram HR 800 (ИГМ СО РАН), Triplemate Spex (ИНХ СО РАН) и ИК-спектроскопии на приборах Bruker Vertex 70 с микроскопом Hyperion 2000 (FTIR) и Specord M-80 (ИГМ СО РАН). Проведена оценка воспроизводимости результатов, некоторые из них заверены различными методиками анализа.

**Теория**, представленная в диссертации, **построена** на анализе фазовых диаграмм водно-солевых систем с веществами различной летучести; на данных и фактах, полученных в результате комплексного исследования включений минералообразующих сред в минералах миароловых гранитных пегматитов и Li-F гранитов и результатах экспериментов в системах  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaF}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ , гранит- $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  с добавками NaF, NaCl и редких металлов. Полученные результаты и выводы согласуются с опубликованными данными по генезису гранитных пегматитов и редкометалльных Li-F гранитов (Косухин и др., 1984; Бакуменко, Коноваленко, 1988; Россовский и др., 1991; Перетяжко и др., 1999; Рейф, 1990; Коваленко и др., 1996; Косухин и др., 1984; Загорский и др., 1999; Jahns, Burnham, 1969; London, 1986; Williams, Taylor, 1996; Thomas et al., 2000, 2002, 2005, 2006, 2011; Thomas, Davidson, 2010; Audetat, Pettke, 2003; Zajacz et al., 2008 и др.). Методические подходы согласуются с практикой аналогичных исследований (Рейф, 1976, 1990, 2008; Наумов, 1979, 1992; Чупин, Косухин, 1982; Thomas et al., 1996; Student, Vodnar, 1996; Tait, 1992; Severs et al., 2007; Thomas et al., 2000; Титов и др., 1999 и др.). **Идеи** диссертации **базируются** как на общепринятых моделях и концепциях эволюции обогащенных летучими компонентами силикатных расплавов, так и на новых гипотезах генезиса гранитных пегматитов. Результаты исследований не противоречат, а во многих случаях дополняют ранее опубликованные данные по генезису гранитных пегматитов и редкометалльных гранитов; проведено сравнение полученных данных с результатами других авторов.

В работе **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации и представительные коллекции образцов. Изучены > 1000 пластинок из ~200 образцов различных вещественно-структурных комплексов гранитных пегматитов и Li-F гранитов Забайкалья, Приморья, Северного Вьетнама, и Таджикистана. Проведено более 1000 микротермометрических экспериментов в термокамерах и более 100 прогревов включений под давлением методом закалки. Фактический материал диссертации основывается на ~1500 анализов минералов, стекол расплавных включений и продуктов экспериментов методами рентгеноспектрального микроанализа, 43 анализах методом ВИМС, более 220 анализах методом ИСП-МС с лазерной абляцией, около 2000 рамановских и ИК-спектрах. Используются также результаты 58 экспериментов в модельных системах, проведенных в автоклавах и установках высокого давления.

**Личный вклад соискателя состоит** в непосредственном участии в

получении исходных данных, проведении научных экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных, выполненных лично или при участии автора. Им отобран каменный материал в экспедиционных работах в Центральном Забайкалье и на Юго-Западном Памире, проведены исследования включений выше перечисленными методами, под его руководством разработана автоклавная методика прогрева расплавных включений под давлением воды с последующим контролем их герметичности. Открытие ортоборной кислоты, как компонента природных пегматитовых флюидов, является его заслугой, так как им были проведены спектрометрические измерения включений и их интерпретация; при его участии разработан метод определения концентрации ортоборной кислоты во включениях по данным микротермометрии. При проведении экспериментальных исследований автор формулировал задачи, участвовал в разработке методики эксперимента, исследовал его продукты и интерпретировал результаты. Автор лично участвовал в подготовке основных публикаций по выполненной работе и апробации результатов работы на международных и отечественных конференциях.

На заседании **13 ноября 2015** года диссертационный совет принял решение присудить **Смирнову Сергею Захаровичу** ученую степень **доктора геолого-минералогических наук**.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 11 докторов наук по специальности 25.00.04, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 21, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета

Поляков Г.В.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Туркина О.М.

17 ноября 2015.г.