

Соискатель: **РУСАК АЛЕКСАНДРА АНДРЕЕВНА**

Тема диссертационной работы:

«ФАЗОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ ФАЗАМИ В ВЫСОКОФТОРИСТОЙ МОДЕЛЬНОЙ ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЕ SI-AL-NA-K-LI-F-O-H ПРИ ВЫСОКИХ ТР-ПАРАМЕТРАХ»

Шифр и наименование научной специальности и отрасли науки, по которым выполнена диссертация: **1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых**

На заседании **18 ДЕКАБРЯ 2024 ГОДА ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ 24.1.195.02** на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского Российской академии наук **ПРИНЯЛ РЕШЕНИЕ: ПРИСУДИТЬ РУСАК АЛЕКСАНДРЕ АНДРЕЕВНЕ УЧЕНУЮ СТЕПЕНЬ КАНДИДАТА ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ МИНЕРАЛОГИЯ, КРИСТАЛЛОГРАФИЯ. ГЕОХИМИЯ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ** за экспериментальное доказательство существования щелочно-алюмофторидной фазы при дифференциации гранитных расплавов, обогащенных фтором и литием, способной концентрировать редкоземельные элементы при высоких Т-Р параметрах, обоснование магматической природы криолита и литийсодержащих алюмофторидов в гранитах путем сравнения экспериментально полученных фаз и природных парагенезисов и доказательство, что криолит является индикатором редкометальных месторождений.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, включая **13** докторов наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (отрасль наук – геолого-минералогические науки), участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – **19**, против – **0**, недействительных бюллетеней – **0**.

(Протокол № 10 от 18.12.2024).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.195.02,

созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и
аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 18.12.2024, № 10

О присуждении **Русак Александре Андреевне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Фазовые отношения и распределение редких элементов между фазами в высокофтористой модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H при высоких TP-параметрах»** по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых принята к защите 16 октября 2024 г., протокол № 8, диссертационным советом 24.1.195.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской Академии наук (ГЕОХИ РАН), 119991, ГСП-1 г. Москва, ул. Косыгина, д.19, утвержденного приказом Минобрнауки РФ №2135/нк от 27.11.2023.

Соискатель **Русак Александра Андреевна**, «11» апреля 1996 года рождения, в 2017 году Русак Александра Андреевна окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», где ей была присвоена степень бакалавра по направлению 05.03.01 «Геология». В 2019 году Русак Александра Андреевна окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», где ей была присвоена степень магистра по направлению 05.04.01 «Геология».

С «01» октября 2019 года по «30» сентября 2022 года соискатель обучался в основной очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) по направлению Науки о Земле. Русак Александре Андреевне была присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Русак Александра Андреевна работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) в лаборатории геохимии мантии Земли: с 2018 г. по 2019 г. в должности инженера-исследователя, с 2019 г. по 2023 г. в должности младшего научного сотрудника, с 2023 года по настоящее время в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории геохимии мантии Земли Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и

Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат геолого-минералогических наук Щекина Татьяна Игоревна, ведущий научный сотрудник кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Баданина (Сырицо) Людмила Федоровна, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры геохимии института наук о Земле (ИНоЗ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), г. Санкт-Петербург;

Редькин Александр Федорович, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории моделей рудных месторождений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН), г. Черноголовка.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии российской академии наук (ИГЕМ РАН), г. Москва, в своем **положительном отзыве**, подписанном Никифоровым Анатолием Викторовичем, доктором геолого-минералогических наук, профессором РАН, ведущим научным сотрудником лаборатории редкометального магматизма ИГЕМ РАН и Андреевой Ириной Анатольевной, кандидатом геолого-минералогических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории редкометального магматизма ИГЕМ РАН и утвержденном директором ИГЕМ РАН член-корреспондентом РАН В.А. Петровым, указала, что в диссертационной работе расширена область температур и давлений для исследования модельной гранитной системы от 400 до 1250°C и давлении от 1 до 2 кбар, получены новые данные по фазовым отношениям для фтор- и литийсодержащей гранитной системы, что определяет актуальность и научную новизну полученных автором результатов. Практическая значимость исследований, посвященных процессам накопления редких элементов в гранитных системах, не вызывает сомнений. Фактический материал настоящей работы впечатляющий, проделана гигантская работа по постановке экспериментов и обработке их результатов. Представленная работа выполнена на высоком научном уровне и является законченным исследованием, а ее автор, Русак Александра Андреевна, показала себя сложившимся специалистом в области экспериментального изучения Li-F гранитных систем.

Содержание диссертации полностью соответствует автореферату и заявленной специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертация «Фазовые отношения и распределение редких элементов между фазами в высокофтористой модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H при высоких ТР-параметрах» отвечает требованиям и критериям, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением

Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., №842 для ученой степени кандидата наук, а ее автор Русак Александра Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Обсуждение диссертационной работы Русак Александры Андреевны состоялось в лаборатории редкометального магматизма ИГЕМ РАН, одним из основных направлений научно-исследовательской деятельности которой, является изучение редкометальных гранитных систем, включающих геологические, петрологические, изотопно-геохимические исследования, а также изучение расплавных и флюидных включений в минералах горных пород.

Отзыв организации на диссертационную работу Русак Александры Андреевны заслушан и одобрен в качестве официального на заседании Петрологической секции ученого совета ИГЕМ РАН, протокол №1 от 26 ноября 2024 года.

Соискатель имеет 113 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 73 работы, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (К1-2), опубликовано 3 работы.

В работах по теме диссертации представлены результаты экспериментальных исследований фазовых отношений в гранитной системе с фтором и литием в широком интервале Т-Р условий и изучен характер распределения редкоземельных элементов между алюмосиликатным и солевым щелочно-алюмофторидным расплавами. Результаты, представленные в публикациях, имеют фундаментальный характер, вносят вклад в развитие знаний в области геохимии фтора, лития и редкоземельных элементов при образовании редкометальных гранитов и связанных с ними редких элементов; они позволяют рассматривать криолит как индикатор редкометального оруденения и использовать его при поисках соответствующих рудных месторождений.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах Русак А.А.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Щекина Т.И., **Русак А.А.**, Алферьева Я.О., Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Зиновьева Н.Г., Бычков А.Ю., Бычкова Я.В., Хвостиков В.А. Распределение REE, Y, Sc и Li между алюмосиликатным и алюмофторидным расплавами в модельной гранитной системе в зависимости от давления и содержания воды // Геохимия. – 2020. – Т. 65. – № 4. – С. 343-361.
2. Щекина Т.П., **Русак А.А.**, Алферьева Я.О., Граменицкий Е.Н., Хвостиков В.А., Котельников А.Р., Бычков А.Ю., Зиновьева Н.Г. Поведение лития в ликвидусной части высокофтористой гранитной системы при давлении от 10 до 50 МПа // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2021. – № 3. – С. 76–88.
3. **Rusak A.A.**, Shchekina T.I., Zinovieva N.G., Bychkov A.Y., Lukanin O.A. Cryolite as a reference mineral of rare metal mineralization: an experimental study // *Geochemistry International*. – 2024. – V. 62. – № 7. – P. 714-732.

На автореферат и диссертацию поступило 17 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность темы диссертационной работы, обоснованность цели и задач, научная новизна и значимость результатов исследования, их значение для практического использования.

Положительные отзывы без замечаний поступили от:

Каминского Феликса Витольдовича, доктора геолого-минералогических наук, профессора, члена-корреспондента РАН, главного научного сотрудника лаборатории геохимии углерода имени академика Э.М. Галимова Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва;

Кременецкого Александра Александровича, доктора геолого-минералогических наук, научного руководителя Федерального государственного бюджетного учреждения Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, г. Москва;

Котельникова Алексея Рэдовича, доктора геолого-минералогических наук, главного научного сотрудника лаборатории моделей рудных месторождений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук, г. Черноголовка; **Сук Наталии Ивановны**, кандидата геолого-минералогических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории моделей рудных месторождений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук, Московская обл., г. Черноголовка

Бычкова Дмитрия Алексеевича, кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника лаборатории экспериментальной геохимии геологического факультета ФГБОУВО Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

Положительные отзывы с вопросами, замечаниями и рекомендациями поступили от:

Воропаева Сергея Александровича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории геохимии углерода имени академика Э.М. Галимова Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва:

- Следует отметить, что несмотря на полученные в работе Русак А.А. убедительные экспериментальные доказательства важной роли фтор-содержащих рассолов для перераспределения редкоземельных элементов, природные ликвационные процессы с участием силикатных расплавов и флюидов имеют сложный многостадийный характер. В ходе быстрого изменения Р-Т параметров при движении силикатной магмы к поверхности может происходить ее дегазация и гетерогенизация изначально гомогенных силикатных расплавов. Растворение флюсующих компонентов (воды, фтористых соединений и др.) в силикатном расплаве существенно снижает его ликвидус-солидусные температуры и вязкость, что может приводить к расслаиванию на несмешивающиеся расплавы и их конвекционному течению в магматической камере. Природные объекты, где

обнаружены реликты фторидных расплавов, редки и чрезвычайно интересны, их детальное изучение можно порекомендовать соискателю для дальнейших научных исследований.

Дымшиц Анны Михайловны, кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника лаборатории орогенеза ФГБУН Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск:

- В качестве небольшого замечания можно отметить следующее. В разделах литературный обзор и результаты автор приводит ряд ключевых работ, на которые был сделан акцент при выборе системы для изучения. При этом пропущены некоторые довольно важные исследования относительно жидкостной несмесимости, которые бы могли дополнить последующие разделы результатов.

Это работы: Veksler, 2004. Liquid immiscibility and its role at the magmatic-hydrothermal transition: a summary of experimental studies;

Yang, Hinsberg, 2019. Liquid immiscibility in the CaF_2 -granite system and trace element partitioning between the immiscible liquids;

Vasyukova and Williams-Jones, 2020. Partial melting, fractional crystallization, liquid immiscibility and hydrothermal mobilization – A ‘recipe’ for the formation of economic A-type granite-hosted HFSE deposits и ряд других.

Возможно, эти работы упоминаются в полном тексте диссертации, если нет, автору следует включить их в свое рассмотрение при дальнейшем продолжении данной тематики.

Плясунова Андрея Валентиновича, кандидата химических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории гидрогеохимических и гидротермальных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва:

- В качестве недостатка отметим отсутствие оценки погрешности коэффициентов распределения, вероятно, в силу трудоемкости экспериментов, когда невозможно или весьма затратно получить достаточное для статистической обработки число определений.

Яковлева Олега Ивановича, кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника лаборатории сравнительной планетологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва:

- В порядке замечания, а лучше сказать обсуждения, нужно сказать о неэквивалентности величин коэффициента распределения и коэффициента разделения. Последнее понятие диссертантка употребляет при сравнении содержаний компонента между двумя фазами системы. Полученные отношения правильнее называть коэффициентами распределения, а не коэффициентами разделения, так как коэффициент разделения употребляется, как правило, при сравнении отношений содержаний двух компонентов фазы между двумя сосуществующими фазами.

Плечова Павла Юрьевича, доктора геолого-минералогических наук, профессора РАН, директора Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва:

- К сожалению, из автореферата непонятен полный баланс фтора. Распределяется ли фтор в водный флюид? От чего зависит содержание фтора в

алюмосиликатном расплаве? Какое пороговое содержание фтора должно быть в системе, чтобы проявлялась несмесимость? Эти вопросы детально обсуждались для щелочных систем (например, Когарко, Кригман, 1981), поэтому хотелось бы видеть аналогичное обсуждение для гранитных систем. Распределение рассеянных элементов детально описано, но обсуждение причин выявленных закономерностей не приводится. Почему иттрий селективно распределяется в солевой расплав при давлении 1 кбар, а при давлении 2 кбар проявляет более сложное поведение?

Толмачевой Елены Васильевны, кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника лаборатории изотопной геологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, г. Санкт-Петербург:

- Замечаний относительно двух первых положений нет, а третье защищаемое положение вызывает ряд вопросов. В частности, в гранитах катугинского месторождения присутствуют многочисленные криолитовые глобулы (результат ликвации исходного расплава на алюмо-силикатную и фторидно-солевую составляющие). В автореферате приведены данные о содержании только главных элементов в криолите. Изучалось ли автором распределение Y и редкоземельных элементов в этих глобулах? Это позволило бы подтвердить (или опровергнуть) тезис о концентрации этих элементов во фторидно-солевом расплаве реальных гранитов. Кстати, согласно нашим данным в криолитовой «залежи» катугинского месторождения содержания Y, Nb и редкоземельных элементов крайне низки. Далее, одним из ведущих концентраторов Y, Nb и редкоземельных (по крайней мере, тяжелых) элементов является циркон, являющийся одной из первых фаз, кристаллизующихся из алюмо-силикатного расплава. Как все это соотносится с полученными автором экспериментальными данными?

Антипина Виктора Сергеевича, доктора геолого-минералогических наук, профессора, главного научного сотрудника Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН лаборатории гранитоидного магматизма и метаморфизма, г. Иркутск:

- В главе 2 приведены сведения об исходных составах системы, использованных реактивах, методике приготовления смесей и продуктов опытов, аппаратуре, аналитических методах исследования. В заключении данной главы сделана ссылка, что редкометалльные криолитсодержащие граниты Зашихинского, Улуг-Танзекского и Катугинского месторождений использованы из коллекции музейных образцов различных научных организаций. В данном случае, в качестве замечания, можно отметить, что была бы полезной в автореферате краткая геологическая информация о перечисленных месторождениях, образцы которых исследовались в экспериментальной работе. В главе 5 проводится сопоставление полученных экспериментальных результатов по фазовым отношениям в гранитной системе с F, Li и редкими элементами с парагенезисами пород и составами породообразующих и рудных минералов редкометалльных криолитсодержащих месторождений в гранитах. Известно, что наиболее крупные проявления криолита, образующие протяженное тело диаметром около 300 метров в массиве среднепротерозойских гранитов известны на месторождении Ивигтут (Гренландия), где были сделаны первые находки криолита (Pauly, Bailey, 1999). Эту информацию диссертанту необходимо уточнить. Раньше в нашей статье мы (Антипин, Савина, Митичкин, Геохимия, 2006, №10, 1040-1052) делали ссылку на

более раннюю статью о возрасте и происхождении криолита месторождения Ивигтут Гренландии в *Economic Geology*, 1976 (Blaxland A.B. Rb-Sr isotopic evidence for the age and origin of the Ivigtut granite an associated cryolite body, South Greenland// *Economic Geology*, 1976. V.71. P. 864-868).

Федькина Валентина Васильевича, кандидата геолого-минералогических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории метаморфизма, магматизма и геодинамики литосферы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН), г. Черноголовка:

И все-таки, признавая важность и значение полученных результатов, хотелось бы высказать некоторые замечания по автореферату диссертации и пожелания автору для дальнейшей работы.

1. Защищаемые положения диссертации составлены, на мой взгляд, не очень удачно, обычно защищаются главные достижения проведенных исследований, а не отдельно взятые цифры, вырванные из контекста, даже, если в них сосредоточена большая часть полученных результатов. Фактически, такие обобщения по всем трем разделам работы в автореферате имеются, но представлены они почему-то в разделе «Научная новизна», что отвлекает внимание читателя от основных результатов исследования и снижает их более общее фундаментальное значение.
2. Задача по изучению фазовых отношений в модельной системе решена частично, поскольку автор не ставила перед собой задачу изучить полную фазовую диаграмму состояния модельной системы. Реально же, количество экспериментов (55), проведенных в процессе изучения системы, при таком количестве переменных и параметров для этой цели оказалось явно недостаточным. В результате проведенных исследований определены ТР параметры основных фазовых переходов в системе, областей плавления, ликвации и кристаллизации минералов. Но факт значительного расширения параметров экспериментального исследования модельной системы Li-F гранитов в качестве важного достижения автора среди защищаемых положений, к сожалению, не оказался. Продолжение исследований в этом плане кажется необходимым и весьма желательным.
3. Во втором защищаемом положении приводятся отдельные выборочные значения коэффициентов разделения элементов при переменных Т, Р и содержании воды в расплаве. Странно, что для всех главных элементов системы (REE, Sc, Y) в автореферате приведены всего лишь два частных значения коэффициента разделения между алюмосиликатным и солевым расплавами: для лантана $KD_{La}(LF/L)=73$ при $800^{\circ}C/1$ кбар и церия $KD_{Ce}(LF/L)=85$ при $700^{\circ}C/1$ кбар, а другие элементы этой группы даже не упоминаются.
4. В то же время, детально обсуждается противоречивая зависимость лития от параметров эксперимента. Такой интерес к литию вызван, возможно, тем, что для него характерен большой (от 2,6 до 4,6 раз) разброс значений коэффициента разделения (KD_{Li}) между силикатным и солевым расплавами при параметрах одного опыта, например, при $T=800^{\circ}C$ и $P=2$ кбар $KD_{Li}(LF/L)$ меняется в интервале от 1,7 до 7,86 ед. Такое изменение можно объяснить либо высокой летучестью этого элемента во время анализа, либо отсутствием термодинамического равновесия в системе во время эксперимента.

5. Предположение, что равновесие в опытах достигалось не всегда, подтверждается при сравнении состава экспериментальных стекол с составами криолитсодержащих гранитов (рис. 11). На этой диаграмме сравниваются основные порообразующие компоненты, и влияние лития исключено. Однако область разброса составов стекол из эксперимента по сравнению с природными составами криолитсодержащих гранитов зашкаливает более чем в два раза, что может быть также связано с условиями термодинамического равновесия в изучаемой системе.
6. В третьем защищаемом положении три случайных образца из трех разных месторождений Восточной Сибири никак не могут претендовать на сколь-нибудь серьезное описание криолитсодержащих рудопоявлений, тем более с претензией на их мировой охват. Как бы тщательно и детально не описывались выбранные образцы, я бы пожелал автору все-таки съездить на какое-либо реальное месторождение редкометальных гранитов и вживую познакомиться с объектом исследования. Будет почва для дальнейших открытий.

Конышева Артема Александровича, кандидата геолого-минералогических наук, ведущего научного сотрудника отдела минерального сырья Института геологии Карельского научного центра РАН и **Светова Сергея Анатольевича**, доктора геолого-минералогических наук, главного научного сотрудника лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии института геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск:

- Защищаемые положения сформулированы несколько громоздко, однако абсолютно корректны и оправданы.

- Хочется отметить, что указанная в автореферате скорость закалки 150-200°C в минуту выглядит недостаточно быстрой и возникают вопросы о корректности описываемых явлений. Однако, в диссертации доступной на сайте защищаемой организации, также была обнаружена информация о проведении экспериментов со сбросом в холодную зону, позволяющих добиться подобного понижения температуры, но за время около 1 секунды. Продукты этих экспериментов с быстрой закалкой имели меньшую степень раскристаллизации, но самое главное – не происходило изменения наблюдаемых равновесных фазовых отношений между различными жидкостями. Таким образом, в работе доказывается, что скорость закалки не влияет на представленные выводы, а основной объем экспериментов проведенных при обычной скорости закалки оправдан тем, что иначе было бы невозможно сравнить экспериментально образующиеся минеральные фазы с природными. Однако, в автореферате указано лишь о основных сериях экспериментов позволяющих сделать описываемые выводы. По факту – работа проделанная автором на основе анализа текста диссертации превышает то, что описано в автореферате. Вероятно, подобное сделано, чтобы излишне не увеличивать объем автореферата, что выглядит не совсем удачно.

Арискина Алексея Алексеевича, доктора геолого-минералогических наук, профессора кафедры петрологии и вулканологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва:

- По содержанию работы у рецензента принципиальных замечаний нет, а вот в отношении реферата отмечу два момента:

- (1) Не хватает сводной таблички с условиями проведения опытов и перечислением продуктов опытов, как это принято при представлении экспериментальных работ.
- (2) Трудно согласиться с заключительным тезисом, что изученная автором система "... может служить моделью формирования криолитсодержащих редкометалльных гранитов" (стр. 24). Точнее сказать, что полученные результаты могут являться эмпирической основой для построения такой модели, которая, очевидно, должна включать и транспортные процессы в определенных пространственно-временных масштабах.

Сергеевой Анастасии Валерьевны, кандидата химических наук, старшего научного сотрудника лаборатории Аналитический центр института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский:

- Работа производит положительное впечатление, получены актуальные результаты, в ходе знакомства с исследованием возникают некоторые вопросы.

- Интересны результаты по перераспределению РЗЭ+ между жидкостями, коррелируют ли спектры распределения с прочностью фторидных комплексов этих металлов? Было бы интересно услышать мнение автора работ по этому поводу.

- К одному из интересных результатов относится заключение об области ликвации/расслоения в жидкости при высоких температурах. В связи с этим возникает вопрос об уточнении положения купола бинодального распада в расплаве и о положении критической точки, но возможно, это тема будущих исследований.

Чевычелова Виталия Юрьевича, доктора геолого-минералогических наук, главного научного сотрудника лаборатории моделей рудных месторождений Федерального государственного бюджетного учреждения науки института экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук, г. Черноголовка:

- Как пожелание на будущее стоит отметить, что, к сожалению, надписи на некоторых диаграммах (например, рис. 8, 9 и 11) в печатном экземпляре автореферата плохо читаются (очень мелкий шрифт и неважное качество печати).

Самсонова Александра Владимировича, доктора геолого-минералогических наук, члена-корреспондента РАН, главного научного сотрудника лаборатории петрографии института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва:

- На фоне хорошо проработанных вопросов, связанных с гранитами, автор не в полной мере раскрыл следствия результатов проведенных экспериментов на понимание возможных процессов, определяющих образование этих необычных рудообразующих систем. Речь идет о полученных в экспериментах высокотемпературных параметрах зарождения гранитного расплава и его ликвации на сравнительно небольших глубинах. Такое невозможно без участия дополнительного привноса тепла, что, возможно, обеспечивалось базальтовыми магмами. Очевидно, что помимо тепла, базальтовые магмы могли давать также геохимический и петрологический вклад в петро- и рудогенерирующую систему, оценка которого оставалась за рамками проведенного исследования.

В целом, в поступивших отзывах отмечается, что представленные замечания не снижают научной значимости работы. Работа в полной мере соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Русак Александра

Андреевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Выбор **официальных оппонентов** обосновывается тем, что они являются известными специалистами в области геохимии и экспериментальной геохимии, и в том числе, в области фторсодержащих гранитоидных систем. Все оппоненты являются авторами большого числа публикаций, соответствующих тематике диссертационной работы и опубликованных в ведущих российских и международных изданиях.

Выбор **ведущей организации** обосновывается тем, что в ней работают высококвалифицированные специалисты в области геохимии рудных и редкометальных месторождений. Регулярно выходят статьи в ведущих журналах, соответствующие тематике диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований решен ряд фундаментальных и практических задач в области физико-химических, экспериментальных и геохимических исследований, нацеленных на выяснение условий образования и процессов кристаллизации F-Li содержащих гранитов и закономерностей концентрирования редких элементов.

Среди них:

- *Впервые* получены экспериментальные результаты по фазовым отношениям в Li-содержащей модельной гранитной системе в условиях насыщения водой и фтором *при температурах от 400 до 1250°C при давлении 1 кбар* в ликвидусной и субликвидусной частях системы. Показано, что при 800°C и 700°C, 1 и 2 кбар в системе проявляются ликвационные отношения между алюмосиликатным и солевым расплавами. Рассмотрены процессы кристаллизации обоих расплавов, составы главных образующихся фаз, а также поведение редкоземельных элементов и лития при понижении температуры системы вплоть до 500°C и давлении 1 кбар.

- *Впервые* получены экспериментальные результаты по распределению редкоземельных элементов, Y, Sc и Li между алюмосиликатным и солевым расплавами *при 500-800°C и 1 кбар, а также алюмосиликатным расплавом и водным флюидом при 800°C и 1, 2 кбар.*

- *Показано, что редкоземельные элементы, иттрий, скандий и литий предпочтительно накапливаются в солевом щелочно-алюмофторидном расплаве, в значительно меньшей концентрации находятся в равновесном алюмосиликатном расплаве и на порядок меньшем содержании – во флюидной фазе. Показано, что литий играет определяющую роль в концентрировании редкоземельных элементов, иттрия и скандия в солевых расплавах.*

- *Проведено сопоставление результатов экспериментов по фазовым отношениям и поведению редких элементов во фторсодержащей гранитной системе с данными по природным криолитсодержащим редкометальным гранитам.* Полученные данные указывают на важную роль солевых щелочно-алюмофторных расплавов в процессе рудоконцентрации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Данные, полученные в результате исследования, важны для понимания закономерностей концентрирования редкоземельных элементов, иттрия, скандия и лития при формировании криолитсодержащих редкометальных гранитных комплексов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- на базе физико-химических экспериментов в модельной гранитной системе и петро-геохимических исследований природных агапитовых гранитов обоснована генетическая связь гранитов с редкометальной минерализацией;
- показано, что присутствие криолита в гранитах является индикатором редкометальной минерализации.

Оценка достоверности результатов исследования

- В основу диссертационной работы легли данные, опубликованные в 3 рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (К1-2).
- Достоверность полученных результатов обеспечена значимым объемом экспериментальных данных и их воспроизводимостью, а также использованием современных инструментальных методов анализа: электронно-зондовый микроанализ, метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, лазерная абляция.

Личный вклад соискателя состоит в проведении экспериментов, пробоподготовке экспериментальных образцов и их исследовании при помощи электронно-зондового микроанализатора и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Русак А.А. обобщала и систематизировала полученные экспериментальные данные, совместно с научным руководителем, Щекиной Т.И., отбирала образцы пород гранитов для исследования в хранилище музея Федерального государственного бюджетного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС), изучала прозрачно полированные шлифы под микроскопом и принимала участие в исследовании образцов на электронно-зондовом микроанализаторе и обрабатывала полученные результаты. Русак А.А. занималась подготовкой статей и тезисов при консультативном участии научного руководителя и коллег из Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Вопросы в основном касались проблем образования криолита; расширения диапазона температур для экспериментальных данных; образования криолита из гранитного расплава с дальнейшим отделением солевого расплава; отделения солевой жидкости в природных условиях; новых данных, полученных в работе, в сравнении с предыдущими исследователями; поведения иттрия, как легкого редкоземельного элемента, а скандия, как тяжелого; изменения состава системы под воздействием магматических процессов в приповерхностных условиях (пожаров и/или псевдолав) до более глубинных условий; изменения размера глобул

с изменением температуры, а также образования глобул *in situ*, а не в ходе понижения температуры; получения представительных анализов при 500-600°C и полученных искажениях на графиках; достижения буфера NNO, причин несмесимости при добавлении фтора и лития; варьирования содержания воды в ходе экспериментов; возможности появления криолита в высокоглиноземистых гранитах, а также возможности расслоения, связанной со щелочностью системы.

Соискатель Русак А.А. ответила на все задаваемые в ходе заседания вопросы и высказанные замечания. Приведенная ею аргументация была положительно оценена присутствующими на заседании оппонентами и членами диссертационного совета. Представленные замечания не снижают научной значимости работы и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейшего развития исследований.

Диссертационная работа Русак А.А. **«Фазовые отношения и распределение редких элементов между фазами в высокофтористой модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H при высоких ТР-параметрах»** на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям п. 9-14 Постановления правительства РФ "О порядке присуждения учёных степеней" от 24.09.2013 №842 в ред. от 25.01.2024. Работа содержит научно-обоснованное решение научной задачи - установления определяющей роли силикатно-солевых расплавов в формировании редкометальных гранитов и связанных с ними месторождений редких элементов. В работе на основании выполненных автором исследований впервые получены результаты по фазовым отношениям во F-Li содержащей модельной гранитной системе для широкого интервала температур и давлений, определены диапазон температур кристаллизации главных породообразующих минералов в модельной гранитной системе и в криолитсодержащих редкометальных гранитах, определены коэффициенты разделения редких и редкоземельных элементов между солевым щелочно-алюмофторидным и алюмосиликатным расплавами, сопоставлены экспериментальные образцы и природные криолитсодержащие граниты Улуг-Танзекского, Зашихинского и Катугинского месторождений, а также получены данные, объясняющие образование криолитсодержащих редкометальных гранитов.

Содержание диссертационной работы соответствует специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

На заседании «18» декабря 2024 года диссертационный совет принял решение: за экспериментальное доказательство существования щелочно-алюмофторидной фазы при дифференциации гранитных расплавов, обогащенных фтором и литием, способной концентрировать редкоземельные элементы при высоких Т-Р параметрах, обоснование магматической природы криолита и литийсодержащих алюмофторидов в гранитах путем сравнения экспериментально полученных фаз и природных парагенезисов и доказательство, что криолит является индикатором редкометальных месторождений, **присудить Русак Александре Андреевне ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, включая 13 докторов наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (отрасль наук – геолого-минералогические науки), участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 0. (Протокол № 10 от 18.12.2024).

Председатель
диссертационного совета,
академик РАН, доктор геолого-
минералогических наук

Когарко Лия Николаевна

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук

Кронрод Екатерина Викторовна

18.12.2024



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ



ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ
им. В.И. ВЕРНАДСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ГЕОХИ РАН)

Протокол № 10

заседания диссертационного совета 24.1.195.02
от 18.12.2024

Состав диссертационного совета утвержден в количестве **27** человек.
Присутствовали на заседании **19** человек.

Председатель: д. геол.-мин. наук, профессор, академик РАН Когарко Лия Николаевна (*председатель совета*)

Присутствовали: д.г.-м.н., академик РАН Когарко Л.Н. (предс.), д.г.-м.н., профессор РАН Шацкий А.Ф., д.г.-м.н. Базилевский А.Т., д.г.-м.н. Бычков А.Ю., д.г.-м.н. Бобров А.В., д.х.н. Дорофеева В.А., д.геогр.н. Гашкина Н.А., д.г.-м.н., академик РАН Костицын Ю.А., д.г.-м.н. Криволуцкая Н.А., д.х.н. Кронрод В.А., д.г.-м.н. Левитан М.А., д.геогр.н. Линник В.Г., д.биол.н., член-корр. РАН Моисеенко Т.И., д.г.-м.н. Перчук А.Л., д.х.н. Поляков В.Б., д.т.н. Севастьянов В.С., д.г.-м.н. Силантьев С.А., д.х.н. Федотов П.С., к.х.н. Кронрод Е.В. (секретарь). (*всего 19 человек*)

Слушали:

Защиту диссертационной работы **Русак Александры Андреевны «Фазовые отношения и распределение редких элементов между фазами в высокофтористой модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H при высоких ТР-параметрах»** на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории геохимии мантии Земли Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН).

Научный руководитель – Щекина Татьяна Игоревна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

Официальные оппоненты по диссертации:

Баданина (Сырицо) Людмила Федоровна, д.г.-м.н., профессор кафедры геохимии института наук о Земле (ИНоЗ) Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), г. Санкт-Петербург;

Редькин Александр Федорович, к.х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории моделей рудных месторождений Института экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН), г. Черноголовка.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), г. Москва

Соискатель имеет 113 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 73 работы, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (К1-2), опубликовано 3 работы. Требования к публикациям основных научных результатов, предусмотренные п.11 – 13 Положения, а также требования п. 10 и 14 выполнены полностью.

Отзывы оппонентов и ведущей организации – положительные. На диссертацию поступило 17 отзывов – все отзывы положительные.

В работе впервые получены экспериментальные результаты по фазовым отношениям в Li-содержащей модельной гранитной системе в условиях насыщения водой и фтором при температурах от 400 до 1250°C при давлении 1 кбар в ликвидусной и субликвидусной частях системы. Показано, что при 800°C и 700°C, 1 и 2 кбар в системе проявляются ликвационные отношения между алюмосиликатным и солевым расплавами. Рассмотрены процессы кристаллизации обоих расплавов, составы главных образующихся фаз, а также поведение редкоземельных элементов и лития при понижении температуры системы вплоть до 500°C и давлении 1 кбар. Впервые получены экспериментальные результаты по распределению редкоземельных элементов, иттрия, скандия и лития между двумя фазами: алюмосиликатным и солевым расплавами в интервале температур 500-800°C и 1 кбар и водным флюидом при 700-800°C и 1, 2 кбар при различных содержаниях воды. Показано, что указанные элементы предпочтительно накапливаются в солевом щелочно-алюмофторидном расплаве, в значительно меньшей концентрации находятся в равновесном алюмосиликатном расплаве и на порядок меньшем содержании – во флюидной фазе. Показано, что литий играет определяющую роль в концентрировании редкоземельных элементов, иттрия и скандия в солевых расплавах. Проведено сопоставление результатов экспериментов по фазовым отношениям и поведению редких элементов во фторсодержащей гранитной системе с

данными по природным криолитсодержащим редкометальным гранитам. Данные подтверждают большое значение солевых щелочно-алюмофторных расплавов в процессе рудоконцентрации.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Вопросы в основном касались проблем образования криолита; расширения диапазона температур для экспериментальных данных; образования криолита из гранитного расплава с дальнейшим отделением солевого расплава; отделения солевой жидкости в природных условиях; новых данных, полученных в работе, в сравнении с предыдущими исследователями; поведения иттрия, как легкого редкоземельного элемента, а скандия, как тяжелого; изменения состава системы под воздействием магматических процессов в приповерхностных условиях (пожаров и/или псевдолав) до более глубинных условий; изменения размера глобул с изменением температуры, а также образования глобул *in situ*, а не в ходе понижения температуры; получения представительных анализов при 500-600°C и полученных искажениях на графиках; достижения буфера NNO, причин несмесимости при добавлении фтора и лития; варьирования содержания воды в ходе экспериментов; возможности появления криолита в высокоглиноземистых гранитах, а также возможности расслоения, связанной со щелочностью системы. Соискатель Русак А.А. ответила на все задаваемые в ходе заседания вопросы и высказанные замечания. Приведенная ею аргументация была положительно оценена присутствующими на заседании оппонентами и членами диссертационного совета. Представленные замечания не снижают научной значимости работы и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейшего развития исследований.

Постановили:

Диссертационная работа Русак Александры Андреевны «Фазовые отношения и распределение редких элементов между фазами в высокофтористой модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H при высоких ТР-параметрах» на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям п. 9 Постановления Правительства РФ "О порядке присуждения учёных степеней" от 24.09.2013 №842 в ред. от 25.01.2024. Работа содержит решение научной задачи установления определяющей роли силикатно-солевых расплавов в формировании редкометальных гранитов и связанных с ними месторождений редких элементов.

Содержание работы соответствует специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

На заседании «18» декабря 2024 года диссертационный совет принял решение: за экспериментальное доказательство существования щелочно-алюмофторидной фазы при дифференциации гранитных расплавов, обогащенных фтором и литием, способной концентрировать редкоземельные элементы при высоких Т-Р параметрах, обоснование магматической природы криолита и литийсодержащих алюмофторидов

в гранитах путем сравнения экспериментально полученных фаз и природных парагенезисов и доказательство, что криолит является индикатором редкометальных месторождений, присудить Русак Александре Андреевне ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **18** докторов наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, в том числе **13** докторов наук, обеспечивающих отрасль науки – геолого-минералогические, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета проголосовали: за - **19**, против - **0**, недействительных бюллетеней – **0**.

Председатель
диссертационного совета,
академик РАН, доктор геолого-
минералогических наук,

Когарко Лия Николаевна

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук

Кронрод Екатерина Викторовна

18 декабря 2024 г

