

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Института геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)

чл.-к. РАН Петров В.А.

26.11.24.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН) на диссертационную работу 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 TP-параметрах», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа Александры Андреевны Русак представляет собой многоплановое исследование. В ней представлены результаты изучения фазовых отношений и распределения редкоземельных элементов, скандия и иттрия в модельной гранитной системе Si-Al-Na-K-Li-F-O-H между алюмосиликатным и щелочно-алюмофторидным солевым расплавами и водным флюидом в широком интервале P-T – параметров ($T = 400^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$ и $P = 1-2$ кбар) и разным содержании воды (от 0 до 50 мас. %), а также результаты изучения поведения лития в данной системе. Кроме того, выполнены исследования минерального состава криолитсодержащих редкометалльных гранитов месторождений Улуг-Танзек, Зашихинское и Катугинское, и проведено сопоставление с экспериментальными результатами по фазовым равновесиям и распределению редкоземельных элементов в литий- и фторсодержащей гранитной системе.

Механизмы накопления рудных компонентов и их миграции, обеспечивающие образование месторождений, связанных с редкометалльными гранитами разработаны на сегодняшний день недостаточно. Выявление физико-химических закономерностей поведения макро- и микрокомпонентов является одним из важнейших направлений исследований геохимии и петрологии. Для количественной характеристики поведения

редкоземельных элементов необходимы экспериментальные данные о коэффициентах распределения между фазами кристаллизующейся магмы: кристаллами, силикатным и солевым расплавом и водным флюидом. На сегодняшний день для построения количественных моделей рудообразования таких данных не так много.

Автор начинала свои исследования высокофтористых гранитных систем и поведения редких элементов в них «не с чистого листа», однако далеко не все аспекты проблематики были исследованы. В данной 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. Все это и 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. Исследована серия образцов из природных объектов. Даже небольшой части фактического материала хватило бы для подтверждения квалификации, на которую претендует автор. Все выводы и Защищаемые положение автора подкреплены собственным материалом.

Результаты работ автора по теме диссертации представлялись на множестве конференций начиная с 2016 года и опубликованы в трех 3 рецензируемых научных журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus, RSCI и рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (К1) для публикации основных научных результатов диссертации, а также в 25 тезисах конференций, 34 материалах статей сборников конференций, 11 в прочих изданиях.

Рецензируемая диссертационная работа состоит из Введения, 5 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (154 наименования). Все таблицы с результатами включены в текст.

Введение полностью отражает суть диссертации, ее фактический материал, содержит все необходимые пункты: актуальность темы исследования; цели и задачи работы; научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы; объекты исследования; фактический материал; аналитические методы; личный вклад автора; апробация работы; структура и объем работы; основные положения, выносимые на защиту.

Есть небольшое замечание к этому разделу.

Не стоит вводить в защищаемые положения обозначения которые ранее не расшифровывались, например, $KD_{Ce}(LF/L)=85$. Что такое LF и L?

Первая глава обобщает обширные литературные данные по состоянию проблемы высокофтористых гранитных систем, включающие как экспериментальные работы, так и работы, посвященные результатам исследований включений минералообразующих сред и конкретных геологических объектов. Автором отмечено, что несмотря на большое количество имеющихся литературных данных по фторсодержащей гранитной системе, ранее не рассматривались (или рассматривались недостаточно) вопросы, связанные с изучением поведения лития в ликвидусной части высокофтористой гранитной системы при таком широком диапазоне температур и давлений (от 400 до 1250°C и давлении от 1 до 2 кбар). Кроме того, отсутствуют важнейшие данные о распределении редкоземельных элементов между солевыми и алюмосиликатными расплавами при температурах ниже 700-800°C и давлении выше 1 кбар. Все это послужило обоснованием необходимости продолжения экспериментальной работы во фтор- и литийсодержащей гранитной системе.

В качестве замечания к этой главе можно указать следующее.

Некоторые утверждения явно неполные, и требуют пояснения. «Отделяющийся от алюмосиликатного солевой расплав имеет щелочной алюмофторидный состав» (стр. 21). Очевидно, что это только частный случай.

В главе 2 представлены сведения по основным параметрам проведенной экспериментальной и аналитической работы – дано описание исходных составов системы, использованных реактивах, методики приготовления смесей и продуктов опытов, аппаратуры, аналитических методов исследования продуктов опытов. Охарактеризован порядок работы с природными образцами гранитов Зашихинского, Улуг-Танзекского и Катугинского месторождений.

К этой главе также имеется ряд замечаний:

1. Не очень понятен один момент, касающийся методической части (стр. 32). При проверке ампулы на герметичность, ее опускали в горячую воду, и если шли пузырьки, то ампула дополнительно заваривалась. Выход воздуха предполагает замещение его водой, но воды в каждом опыте добавлялось строгое количество. Отсюда возникают вопросы: – Могло ли неподконтрольное количество вновь поступившей в ампулу воды повлиять на конечный результат опыта? Это лежит в пределах допустимых ошибок опытов?

2. Условия экспериментов, при которых температура превышает 1000°C намного превосходит диапазон температур, типичных для редкометальных гранитов. Эта температура скорее характерна для базитовых магм. Чем обусловлен выбор таких условий, в работе обосновано недостаточно.

3. Некоторых ссылок нет в списке литературы, например Zinovieva et al., 2023 и некоторых других.

В главах 3-5 представляются результаты исследований. Формулируются выводы по каждому результату.

В главе 3 рассмотрены цели и результаты каждого из проведенных опытов. Описаны и проиллюстрированы наблюдаемые фазы, их взаимоотношения. Представлены таблицы с составами фаз. Подробно обсуждаются критерии равновесия. В заключении рассматривается фазовая треугольная диаграмма Si-Al-Na+K.

В главе 4 обсуждаются результаты по распределению главных породообразующих компонентов, редкоземельных элементов, иттрия, скандия и лития между щелочно-алюмофторидным солевым расплавом и алюмосиликатным расплавом. Некоторые результаты оказались неоднозначными, что автор и отмечает в тексте.

Глава 5 посвящена описанию результатов изучения породообразующих и рудных минералов ряда образцов редкометальных криолитсодержащих гранитов месторождений Восточной Сибири (Зашихинского, Улуг-Танзекского и Катугинского). Проводится сопоставление полученных автором данных и литературных данных с экспериментальными результатами по фазовым отношениям в гранитной системе с фтором, литием и редкими элементами. Результаты, описанные в главе 5, являются базисом для 3-го защищаемого положения.

Замечания к этим главам сводятся к следующим.

1. В Таблице 4 представляются основные параметры проведённых опытов, однако нет опыта 894.

2. Не очень понятна ситуация с корректной оценкой состава алюмосиликатного расплава в опытах при низкой температуре. В одних случаях (стр. 119 и 139) говорится о невозможности корректно оценить состав, и в то же время на графиках используется этот состав (рис. 41, 50, 51).

3. Чем отличается типичный гранит от кварц-калиевополевошпатового гранита в подписи к рис. 79?

4. На приведённых в тексте фотографиях шлифов гранитов Улуг-Танзека нет номеров образцов, хотя изучены заведомо разные образцы.

5. Фазовые отношения криолита и двух несмешивающихся расплавов не вполне ясно выявлены как в экспериментах, так и в природных образцах. С одной стороны, криолит обнаруживается как закалочная фаза в алюмофторидной жидкости. С другой стороны, наблюдается кристаллизация этого минерала из алюмосиликатного расплава. Каким образом это совмещается, остается неясным.

6. Нам представляется, что использование только экспериментальных данных в качестве построения модели формирования природных редкометальных гранитов Зашихинского, Улуг-Танзекского и Катугинского месторождений без учета многих

геологических данных недостаточно. В частности, для рассматриваемых природных объектов равномерное распределение криолита по массе алюмосиликатной породы, его взаимоотношение с другими породообразующими минералами предполагает, что он кристаллизовался как равновесная фаза из алюмосиликатного расплава, а не из ликвидировавшего алюмофторидного расплава. Отнесение крупных скоплений криолита в Катугинском месторождении к ликвационным фазам весьма неоднозначно. Лишь для двух природных объектов можно предположить ликвационный механизм формирования крупных скоплений криолита – Питинга и Ивигтут.

7. На наш взгляд считать криолит надежным индикаторным минералом редкометалльно-редкоземельной минерализации также не совсем верно. Криолит неустойчивая фаза, которая легко растворяется в водной среде, и его индикаторное значение исчезает вместе с ним. В противоположность этому, редкометалльно-редкоземельная минерализация устойчива, и уже сама по себе является индикаторной.

8. Хотелось бы пожелать автору критически относиться в ранее опубликованным данным, в частности приводить концентрации фтора в химическом составе плагиоклаза, КПШ, кварца не корректно (стр. 177).

В разделе «Заключение» представляются основные выводы, полученные в результате выполненных исследований.

Несмотря на высказанные замечания, 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 г.

Никифоров Анатолий Викторович
д.г.-м.н., Профессор РАН,
ведущий научный сотрудник
лаборатории редкометального магматизма
ФГБУН Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН);
Адрес: 119017 Москва, Старомонетный пер., дом 35
e-mail: usn2007a@yandex.ru; nikav@igem.ru
тел. +7 (499) 230-82-05

Андреева Ирина Анатольевна
к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник
лаборатории редкометального магматизма
ФГБУН Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН);
Адрес: 119017 Москва, Старомонетный пер., дом 35
e-mail: andreeva@igem.ru

Я, Никифоров Анатолий Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

25 ноября 2024 г

Я, Андреева Ирина Анатольевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

25 ноября 2024 г



Сведения о ведущей организации

по диссертации **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»

по специальности 1.6.4. - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии российской академии наук
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ИГЕМ РАН
Полное наименование структурного подразделения, составляющего отзыв	Лаборатория редкометального магматизма
Почтовый индекс, адрес организации	Российская Федерация, 119017, Москва, Старомонетный пер., 35
Веб-сайт	http://www.igem.ru/
Телефон	+7 (495) 951-45-79
Адрес электронной почты	director@igem.ru
Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющего отзыв, за последние пять лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)	<p>Lykhin D. A., Ivanova A. A., Alymova N. V., Salnikova E. B., Kotov A. B., Nikiforov A. V., Vorontsov A. A., Plotkina Yu. V., Galnikova O. L., Tolmacheva E. V. Age of the Zashikhinskoye Rare Metal Deposit (Eastern Sayan): Results of U–Pb (ID TIMS) Geochronological Studies of Metamictic Zircon //Doklady Earth Sciences. – Moscow: Pleiades Publishing, 2024. – V. 518, P. 1438-1446.</p> <p>Никифоров А.В., Иванова А.А., Ярмолюк В.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Козловский А.М., Хертек А.К., Плоткина Ю.В., Кудряшова Е.А., Галанкина О.Л., Поляков Н.А. Геохронология щелочных пород района арысканского редкометального месторождения (Восточный Саян). Доклады Академии Наук. Науки о Земле. 2023, том 508, № 2, с. 193-202. DOI: 10.31857/S2686739722602253.</p> <p>Андреева И.А., Ярмолюк В.В., Борисовский С.Е. Состав и условия формирования магм щелочно-салических пород раннемезозойской бимодальной ассоциации Ада-Цаг</p>

Хархоринской рифтовой зоны Центральной Азии (данные изучения расплавных включений в минералах) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 509. № 2. С. 215-224. DOI: 10.31857/S2686739722602630

Андреева О.А., Ярмолюк В.В., Саватенков В.М., Андреева И.А., Лебедев В.А., Жи Дж.Ч., Жоу С. Базальтовые лавы толеитовой и щелочной серий вулканов Ван-Тянь и Чанбайшань (Северо-Восточный Китай): к вопросу о последовательности их излияний и генетической взаимосвязи // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 506. № 1. С. 50-59. DOI: 10.31857/S2686739722600874 (Rus)

Yarmolyuk V. V, Kozlovsky A.M., Nikiforov A.V., Kudryashova E.A., Hertek A.K. The Age and Composition of Alkaline Rocks of the Dugda Massif (Eastern Sayan): Patterns of the Manifestation of the Late Paleozoic Rare-Metal Magmatism in the Southwestern Fold Frame of the Siberian Platform // Doklady Earth Sciences. – Pleiades Publishing, 2021. – V. 499. – P. 556-563.

Nikiforov A.V., Dubinina E.O., Polyakov N.A., Sugorakova A.M., Khertek A.K. Influence of host marble rocks on the formation of intrusive alkaline rocks and carbonatites of sangilen (E. Siberia, Russia) // Minerals, 2021, 11(7), 666. <https://doi.org/10.3390/min11070666>

Андреева О.А., Андреева И.А., Ярмолюк В.В., Ji Jianqing, Zhou Xin, Борисовский С.Е. Силикатная жидкостная несмесимость как результат феннеровского типа дифференциации толеитовых магм вулкана Ван-Тянь (Северо-Восточный Китай) // Петрология. 2020. Т. 28. №5. С.393-412 DOI: 10.31857/S0869590320040020

Заведующий лабораторией редкометального магматизма
академик, д.г.-м.н.

Директор Института геологии рудных
месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)
чл.-корр. РАН, д.г.-м.н.



В. Ярмолюк
В.В. Ярмолюк
15.10.2024

В.А. Петров
В.А. Петров



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИГЕМ РАН)**

119017 Москва, Старомонетный пер., 35, тел. (495) 951-45-79 (канц.), факс (495) 951-15-87, E-mail: director@igem.ru,
ИНН 7706042076, КПП 770601001, Расчётный счёт № 40501810845252000079 в УФК по г. Москве, БИК 044525000, ГУ Банка
России по ЦФО, Лицевой счёт № 20736Ц85500, ОГРН 1027739282812, ОКТМО 45384000, ОКВЭД 72.19, ОКПО 02699576

15.10.2024 № 13104 -02-10/428

На № _____

Председателю диссертационного совета
№ 24.1.195.02
академику РАН, д.г.-м.н.
Л.Н. Когарко

СОГЛАСИЕ
ведущей организации

В ответ на Вашу просьбу Исх.№ 13110-01-22-258/626 от 14.10.2024 г., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН) дает согласие выступить в качестве ведущей организации и предоставить отзыв на диссертацию **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»**, представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Директор Института геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)
чл.-корр. РАН, д.г.-м.н.



В.А. Петров