

УТВЕРЖДАЮ:
Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки
Института геологии и минералогии
им. В.С. Соболева Сибирского
отделения Российской академии
наук,
член корр РАН
Крюк Николай Николаевич



Н.Н. Крюк
2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук
(ИГМ СО РАН)**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по теме «Кочумдекский контактовый ореол спуррит-мервинитового метаморфизма: минералогия, геохимические особенности, истории становления» выполнена в лаборатории метаморфизма и метасоматизма (№440) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Во время подготовки диссертации соискатель Девятярова Анна Сергеевна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории метаморфизма и метасоматизма в должности инженера-исследователя, затем, по настоящее время, в должности младшего научного сотрудника.

В 2019 году Девятярова А.С. окончила магистратуру геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский национально исследовательский государственный университет») по специальности «геология». В период 2019-2022 гг. обучалась очно в аспирантуре ИГМ СО РАН по специальности 25.00.05 - «минералогия, кристаллография».

Научный руководитель – Сокол Эллина Владимировна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории метаморфизма и метасоматизма (№440) ИГМ СО РАН.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Цель работы: минералогическая и петро-геохимическая характеристика пород Кочумдекского контактового ореола спуррит-мервинитового метаморфизма (р. Кочумдек, Восточная Сибирь) и реконструкция на базе этих данных термической истории ореола.

Актуальность исследований и постановка научной проблемы

Спуррит-мервинитовый метаморфизм – редкий в природе вариант высокотемпературного и низкобарического термометаморфизма ($P \leq 1.5$ кбар, $T \leq 1000$ °C). Его проявления обычно связаны с интрузиями основного состава, приурочены к подводящим каналам, межинтрузивным интервалам либо представляют собой ксенолиты (Ревердатто, 1970; Перцев, 1977; Kerrick, 1991; Туровцев, 20002; Grapes, 2011). Метакарбонатные породы, преобразованные в условиях спуррит-мервинитовой фации, содержат многочисленные минералы-индикаторы, среди которых преобладают природные аналоги клинкерных фаз (Gross, 1977; Taylor, 1997; Seryotkin et al., 2012; Sharygin et al., 2008; 2013; Sokol et al., 2014; 2019). Это благоприятное обстоятельство для реконструкции условий метаморфического процесса. Однако информация о многих из этих редких минералов остается фрагментарной; не охарактеризованы их кристаллохимические особенности, диапазоны составов твердых растворов, а также геохимическая специализация. Между тем, эти данные принципиально важны при реконструкции параметров метаморфизма. В этой связи актуальна характеристика тех объектов, где геологическая ситуация и литология протолитов благоприятствуют образованию полиминеральных парагенезисов. Наряду с получением новой минералогической информации, породы таких комплексов информативны для реконструкции РТ-параметров метаморфизма, кинетики остывания интрузива и прогрева вмещающих пород, а также источников вещества; оценки температурных градиентов и подвижности элементов в зоне горячего контакта химически контрастных сред.

Наиболее важные научные результаты, полученные соискателем:

В ходе исследований **установлено,**

В Кочумдекском контактовом ореоле при одноактном прогреве мергелистых известняков в контакте с траппом реализовались реакции, отвечающие 10 и 11 ступеням ряда декарбонатизации (при $P_{\text{общ}} \approx 0.2$ кбар, $P_{\text{CO}_2} \geq 0.3-0.4 P_{\text{общ}}$). По мере удаления от контакта парагенезисы минералов-индикаторов и реконструированные на их основе температуры изменялись следующим образом: зона 2 – $T \geq 925$ °C (0.3-0.5 м от контакта; мервинит, ранкинит, бредигит, спуррит, мелилит (Gh_{60-80})); зона 3 – $T \geq 875$ °C (1.0-1.5 м; спуррит, мелилит (Gh_{50-65}), реликты мервинита и спуррит-мантичеллитовые симплектиты); зона 4 – $T \geq 725$ °C (1.5-2.8 м; тиллеит, волластонит, мелилит ($Gh_{<45}$)).

В высокотемпературных ореолах сульфиды являются независимыми индикаторами источников вещества и режима метаморфизма. В матриксе спуррит-мервинитовых мраморов Кочумдекского ореола с пирротинном сосуществуют твердые растворы $(Zn_{0.6}Fe_{0.3}Mn_{0.1})S_{\text{куб}}$, $(Zn_{0.4}Fe_{0.3}Mn_{0.3})S_{\text{гекс}}$ и $(Mn_{0.8}Fe_{0.2})S_{\text{куб}}$, составы которых соответствуют таковым из метеоритных парагенезисов и отвечают пиковым параметрам метаморфизма ($T > 900$ °C). На ретроградном этапе ($T = 650-400$ °C) в мраморах возникли соединения Fe-K-S($\pm Cl$) (расвумит, джерфишерит, бартонит); их образование и локализацию контролировал ограниченный флюидопоток из остывающего траппа. В мраморах источником серы сульфидов был исходный ресурс осадка, что доказывает контрастность величин $\delta^{34}S$ пирротиннов из габброидов ($+2.7 \div +13.1$ ‰) и мраморов ($-25.4 \div -15.1$ ‰ CDT).

Контактовый метаморфизм в Кочумдекском ореоле был близок к изохимическому и не сопровождался заметным транспортом вещества из габброидов в термически преобразованные осадки. Петро- и геохимические характеристики мраморов были унаследованы от нижнесилурийских мергелистых известняков и отвечают тренду смешения пелитового материала и биогенно-осадочного CaCO_3 . Геохимические «метки» габброидов (Ni, Co, Cu, Sc, Cl) были обнаружены только в ретроградных акцессорных минералах.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации:

Изучены две коллекции (1981 и 2017 гг.; 78 обр.) из фондов лаборатории 440. Пробоподготовка, получение, систематизация и интерпретациях всех аналитических данных выполнены лично автором в период с 2016 г по 2022 г. Методами сканирующей электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, LA-ICP-MS анализа и Рамановской спектроскопии автором были охарактеризованы пороодообразующие (20 видов) и акцессорные минералы (28 видов) из всех типов пород ореола. Создан каталог снимков (~ 2000 шт.), иллюстрирующих особенности морфологии и взаимоотношений минералов. На базе программ Excel и Access автором создана взаимосогласованная база аналитических данных, где суммированы петрохимические, геохимические и минералогические данные, характеризующие породы Кочумдекского ореола.

Научная новизна и практическая значимость:

1. Впервые определены особенности морфологии, химического состава и зональности минералов-индикаторов из мраморов Кочумдекского ореола спуррит-мервинитового метаморфизма. Установлено, что составы силикато-карбонатов и силикатов Ca близки к идеальным. Силикаты Ca и Mg зачастую гомогенны и образуют ограниченные серии твердых растворов с замещением $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$. Только минералы группы мелилита обладают отчетливой ростовой зональностью и представляют собой многокомпонентные твердые растворы: $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7 - \text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}\text{AlSiO}_7 - \text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7 - \text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_7 - \text{NaCaAlSi}_2\text{O}_7$.
2. Установлено, что в полизональном Кочумдекском ореоле мощность метаморфических зон растет от 0.3 м вблизи контакта с траппом до более 1 м на удалении от него. Выделены три зоны: (i) мервинит, спуррит, мелилит (Gh_{60-80}) ($\pm$ ранкинит, бредигит) – $T \geq 925^\circ\text{C}$ (до 0.5 м от контакта); (ii) спуррит, мелилит (Gh_{50-65}), монтичеллит-спурритовые симплектиты – $T \geq 875^\circ\text{C}$ (1.0-1.5 м); (iii) тиллеит, волластонит, мелилит ($\text{Gh}_{<45}$) – $T \geq 725^\circ\text{C}$ (1.5-2.8 м).
3. Для кочумдекских мраморов установлена высокая степень сохранности первичных метаморфических парагенезисов. Главными продуктами ретроградного этапа являются монтичеллит-спурритовые и монтичеллит-куспидиновые симплектиты, заместившие мервинит. Стартовая температура этого процесса составляла $\approx 820^\circ\text{C}$.
4. Впервые охарактеризована сульфидная минерализация, возникающая при параметрах спуррит-мервинитового метаморфизма. Диапазоны составов твердых растворов $(\text{Zn}, \text{Fe}, \text{Mn})\text{S}_{\text{куб}}$, $(\text{Zn}, \text{Mn}, \text{Fe})\text{S}_{\text{гекс}}$, $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{S}_{\text{куб}}$ из мраморов сопоставимы с таковыми в сульфидах из метеоритов. Установлено, что при $T > 900^\circ\text{C}$ максимальное количество Fe входит в структуру сфалерита $(\text{Zn}_{0.55-0.57}\text{Fe}_{0.32-0.35}\text{Mn}_{0.07-0.10})\text{S}$, промежуточное – в структуру вюртцита $(\text{Zn}_{0.39-0.46}\text{Fe}_{0.19-0.31}\text{Mn}_{0.28-0.30})\text{S}$ и минимальное – в структуру алабандина $(\text{Mn}_{0.76-0.89}\text{Fe}_{0.12-0.25})\text{S}$.
5. Установлено, что спуррит-мервинитовый метаморфизм мергелистого протолита благоприятствует кристаллохимическому фракционированию микроэлементов и их аккумуляции в акцессорных фазах. Сульфиды наряду с халькофильными Ni, Cu, Co, Zn, Mn, Cd, Tl, Hg, In и Se аккумулируют некогерентные элементы – Rb, Cs, Ba, тогда как оксиды (перовскит и багдадит) концентрируют высокозарядные Ti, Zr, Nb, Hf, U, Th и REE.

6. Впервые охарактеризовано распределение петрогенных, халькофильных, редкоземельных и высокозарядных элементов в породах Кочумдекского ореола. Установлено, что петрохимические характеристики мраморов и мергелистых известняков подобны и определяются смешением пелитового материала и биогенно-осадочного CaCO_3 . На базе геологических, петро- и геохимических, и минералогических данных доказано, что контактовый метаморфизм в Кочумдекском ореоле был близок к изохимическому.

Результаты работы пополняют базы минералогической информации новыми данными о редких минералах-индикаторах спуррит-мервинитового метаморфизма и найдут применение при подготовке учебно-методических пособий и лекционных курсов для студентов. Алгоритм взаимосогласованных минералогических и изотопно-геохимических подходов, протестированный на породах Кочумдекского ореола, может быть использован при реконструкции истории становления иных контактовых ореолов.

Соответствие диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите:

Диссертационная работа Девятияровой А.С. представляет собой законченную научную работу, в которой решены задачи, имеющие существенное значение для развития минералогии, геохимии и теории метаморфизма. **Работа соответствует специальности 25.00.05 по геолого-минералогическим наукам в следующих разделах:** 3. Генетическая минералогия, исследование парагенезисов минералов и эволюции минералогенеза в природных и техногенных системах; экспериментальная минералогия. 8. Кристаллография и кристаллохимия минералов, их техногенных и синтетических аналогов. 13. Изучение химического состава природного вещества в геологических и связанных с ними системах (земной коре, глубинных геосферах Земли, гидросфере, атмосфере, техносфере, внеземных объектах, живом веществе) и процессах, исследование состояния, форм нахождения, закономерностей распространенности и поведения (распределения, концентрирования, фракционирования) химических элементов и их изотопов.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

Основные научные результаты и материалы диссертационного исследования полно изложены в научных публикациях соискателя Девятияровой А.С. (с соавторами). По теме диссертации опубликовано 7 работ, которые **включены в перечень списка ВАК**.

Основные публикации соискателя, в которых опубликованы материалы диссертации (статьи в журналах списка ВАК):

1. Golovin A.V., Goryainov S.V., Kokh S.N., Sharygin I.S., Rashchenko S.V., Kokh K.A., Devyatiyarova A.S., Sokol E.V. The application of Raman spectroscopy to djerfisherite identification // Journal of Raman spectroscopy. 2017. V. 48. № 11. P. 1574-1582.
2. Девятиярова А.С. Мервинит из высокотемпературных мраморов контактового ореола на р. Кочумдек // Вопросы Естествознания. 2018. Т. 1. № 15. С. 70-77.
3. Сокол Э.В., Полянский О.П., Семенов А.Н., Ревердатто В.В., Кох С.Н., Девятиярова А.С., Колобов В.Ю., Хворов П.В., Бабичев А.В. Контактный метаморфизм на р. Кочумдек (бассейн р. Подкаменной Тунгуски): свидетельства существования течения расплава // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 4. С. 456-471.
4. Сокол Э.В., Девятиярова А.С., Кох С.Н., Ревердатто В.В., Артемьев Д.А., Колобов В.Ю. Сульфидная минерализация мраморов спуррит-мервинитовой фации (р. Кочумдек, В. Сибирь) // ДАН. 2019. Т. 489. № 2. С. 174-178.

5. Sokol E.V., Deviatiiarova A.S., Kokh S.N., Reutsky V.N., Abersteiner A., Philippova K.A., Artemyev D.A. Sulfide minerals as potential tracers of isochemical processes in contact metamorphism: case study of the Kochumdek aureole, East Siberia // Minerals. 2021. V. 11. № 1. P. 17.
6. Девятярова А.С., Сокол Э.В., Кох С.Н., Хворов П.В. Монтичеллит-спурритовые симплектиты: свидетельства регрессивного этапа развития контактового ореола Кочумдекского траппа (Красноярский край) // Записки РМО. 2021. Т. 150. № 3. С. 79-97.
7. Сокол Э.В., Козьменко О.А., Девятярова А.С., Кох С.Н., Полянский О.П., Филиппова К.А. Изохимический метаморфизм в Кочумдекском контактовом ореоле (В. Сибирь): геохимические свидетельства и геологическая обусловленность // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 6. С. 801-829.

Диссертация **«Кочумдекский контактовый ореол спуррит-мервинитового метаморфизма: минералогия, геохимические особенности, история становления»** Девятяровой Анны Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 - «минералогия, кристаллография».

Заключение принято на расширенном заседании лаборатории метаморфизма и метасоматизма (№440). Присутствовали на заседании 31 человек (из них: 8 д.г.-м.н., 13 к.г.-м.н.).

Заключение оформил:



Полянский Олег Петрович
Доктор геолого-минералогических наук
Заведующий лабораторией
Лаборатория метаморфизма и
метасоматизма (№440) ИГМ СО РАН