

УТВЕРЖДАЮ:
Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки
Института геологии и минералогии
им. В.С. Соболева Сибирского
отделения Российской академии
наук,
академик РАН
Похиленко Николай Петрович



2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «**Особенности минералогии и флюидный режим образования карбонатно-силикатных пород Кокчетавского массива**» выполнена в лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений (№ 451) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель **Михно Анастасия Олеговна** работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений (№ 451) в должности младшего научного сотрудника.

В 2012 г. окончила геолого-геофизический факультет Новосибирского государственного университета (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет») по специальности «геология».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Цель диссертационной работы А.О. Михно - реконструкция метаморфической истории карбонатно-силикатных пород Кокчетавского массива. **Объектами исследования** являются карбонатно-силикатные породы метаморфизма сверхвысоких давлений Кокчетавского массива (месторождение Кумды-Коль).

Актуальность исследований и постановка научной проблемы.

Метаморфические породы сверхвысоких давлений являются уникальными для изучения процессов, протекающих в субдукционно-коллизионных обстановках на глубинах 100-150 км (Dobretsov et al., 1995; Chopin & Sobolev, 1995; Ernst et al., 1995; De Corte et al., 1998; 2000; Ogasawara et al., 2000; 2002; Katayama et al., 2002; Chopin, 2003; Massonne, 2003; Добрецов, 2003; Добрецов и др., 2006; Korsakov et al., 2004; 2011; Korsakov & Hermann, 2006; Hermann et al., 2006; Massonne, 2011; Mikhno & Korsakov., 2013). Среди метаморфических пород сверхвысоких давлений особое место занимают породы Кокчетавского массива Кумды-Кольского блока, так как они являются наиболее глубоко субдуцированными породами континентальной коры (P = 6-7 ГПа, T=1000-1100 °C; Ogasawara et al., 2000; Massonne, 2003; 2011; Mikhno & Korsakov, 2013).

Высокие содержания алмаза (до 1000 карат/тонна) наряду с контрастной алмазностью привлекли внимание петрологов к карбонатно-силикатным породам Кокчетавского массива (Sobolev & Shatsky., 1990; Dobrzhinetskaya et al 1994; Shatsky et al., 1995; De Corte et al., 1998; Лаврова и др., 1999; Шацкий и др., 2006; Ситникова и Шацкий, 2009). На данный момент не существует единого мнения относительно образования карбонатно-силикатных пород Кокчетавского массива, а также относительно источника флюида/расплава в этих породах. В работах Korsakov & Hermann (2006) и Шацкий и др. (2006) было высказано предположение, согласно которому карбонатно-силикатные породы с калийсодержащим клинопироксеном являются продуктом взаимодействия карбонатных пород с высококалиевым флюидом/расплавом. Однако, в публикациях Л.Л. Перчука с соавторами (Перчук и др., 1996, Перчук и Япаскурт, 1998) предполагалось, что карбонатно-силикатные породы имеют мантийное происхождение, а калийсодержащие клинопироксены кристаллизовались из обедненного калием мантийного силикатного расплава при давлениях > 4.0 ГПа. В настоящей работе проведено комплексное минералого-геохимическое исследование карбонатно-силикатных пород Кокчетавского массива с целью реконструкции их метаморфической истории и флюидного режима, что вносит вклад в понимание вопросов генезиса и эволюции рассматриваемого комплекса сверхвысоких давлений.

Наиболее важные научные результаты, полученные соискателем:

Находки калиевого клинопироксена с прогрессивной зональностью позволили **установить** заключительную стадию прогрессивного этапа метаморфизма, а также **исключить** гипотезу мантийного образования карбонатно-силикатных пород. Пик метаморфизма для них оценивается в $T = 1000-1100$ °С, $P \sim 6-7$ ГПа.

Показано, что флюидные, полифазные силикатные и карбонатные включения сосуществуют в одной ростовой зоне порфиروبластов граната и клинопироксена. Это свидетельствует о том, что кристаллизация этих минералов происходила в присутствии несмешивающихся силикатного и карбонатитового расплавов и преимущественно водного флюида.

Присутствие К-кимрита с кокчетавитом в качестве дочерних фаз расплавных включений **позволило установить**, что кокчетавит образуется путем дегидратации К-кимрита. Находки реликтов калиевого кимрита в породах сверхвысоких давлений в водонасыщенных условиях свидетельствуют об очень высоких скоростях эксгумации.

Было **показано**, что кристаллизация дочерних фаз флюидных и полифазных включений происходила во время ретроградной стадии метаморфизма.

В ходе исследований было **показано**, что сульфиды присутствовали в карбонатно-силикатных породах Кокчетавского массива в условиях, близких к пику метаморфизма. Наличие признаков декрипитации сульфидных включений наряду с экспериментальными данными свидетельствует о существовании сульфидного расплава при $6-7$ ГПа, $1000-1100$ °С.

Сосуществование включений сульфидов и полифазных силикатных включений в одной ростовой зоне калиевого клинопироксена **позволило установить**, что несмешивающиеся сульфидный и силикатный расплавы сосуществовали в условиях, близких к пику метаморфизма ($6-7$ ГПа, $1000-1100$ °С).

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации:

Основу диссертации составляют данные, полученные автором в результате научно-исследовательской работы в 2008–2015 гг. Личный вклад автора состоит в участии в экспедиционных работах в 2011 и 2014 гг. на территории Кокчетавского массива (Северный Казахстан). Автором было изготовлено и просмотрено 100 шлифов и 70 препаратов для исследований флюидных и расплавных включений. Проведено 60 термометрических и криометрических опытов с расплавными и флюидными включениями. Выполнено 3000

анализов на рентгеноспектральном микроанализаторе и сканирующем электронном микроскопе для породообразующих и акцессорных минералов, рассчитаны P-T параметры образования карбонатно-силикатных пород. Получено 200 изображений в отраженных электронах. Методом КР-спектроскопии получено и расшифровано 150 индивидуальных КР-спектров породообразующих минералов и минералов-включений. Получено 20 КР-карт флюидных и твердофазных включений минералов.

Высокая степень достоверности и обоснованности результатов проведенных исследований, обобщенных в виде защищаемых положений и выводов диссертации Михно А.О., базируются на представительном фактическом материале, и определяется использованием современных аналитических методов минералого-геохимических исследований. Представленные в работе результаты не противоречат общеизвестным фактам и являются научно обоснованными и аргументированными.

Определение химического состава породообразующих минералов и минералов полифазных включений производилось на препаратах, напыленных углеродом, на сканирующих электронных микроскопах JEOL JXM-6510LV и TESCAN MIRA 3 LMU JSM 6510LV и рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8100 в аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). КР-спектры в интервале от 50 до 4500 cm^{-1} были получены с использованием спектрометров T64000 Horiba Jobin Yvon и LabRam Horiba Jobin Yvon в аналитических центрах ИГМ СО РАН и НГУ (г. Новосибирск). Конфокальное КР-картирование (Confocal Raman Imaging) флюидных и полифазных включений было выполнено с использованием высокоскоростного КР-спектрометра на базе Confocal Raman Imaging alpha 300 R (WiTec Ltd) в г. Ульм, Германия. Криометрические и термометрические исследования флюидных и расплавных включений производились с помощью термокамеры THMSG600 (ИГМ СО РАН) и на микротермокамере оригинальной конструкции Н.Ю. Осоргина и А.А. Томиленко (Осоргин Н.Ю., Томиленко А.А. Микротермокамера / Авт. свидетельство № 1562816 СССР от 07.05.1990). Определение редких сидерофильных и халькофильных элементов в сульфидах производилось методом индукционно-связанной плазменной масс-спектрометрии с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) в Университете г. Мюнстер (Германия).

Результаты исследований представлены на российских и международных конференциях, а также опубликованы в российских и зарубежных рецензируемых журналах.

Научная новизна. Полученные в работе новые данные о высокобарических минералах, а также флюидных и расплавных включениях в породообразующих минералах карбонатно-силикатных пород Кокчетавского массива важны для решения проблем образования и эволюции этих пород. Впервые, в породах сверхвысоких давлений Кокчетавского массива были выявлены включения клинопироксена с прогрессивной зональностью по K_2O . Эти находки позволили реконструировать фрагменты прогрессивного этапа метаморфизма для пород алмаз-пироповой субфации метаморфизма, а также исключить гипотезу мантийного происхождения карбонатно-силикатных пород. Методом конфокального КР-картирования в полифазных включениях в порфиробластах клинопироксена был диагностирован калиевый кимрит ($\text{KAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Ранее калиевый кимрит наблюдался в продуктах высокобарических экспериментов и никогда не был идентифицирован в природных объектах. Находки калиевого кимрита в одной ассоциации с кокчетавитом свидетельствует о том, что кокчетавит образуется путем дегидратации калиевого кимрита. Состав расплава, реконструированный по вторичным включениям в трещине калийсодержащего клинопироксена, является в большей степени карбонатитовым, чем силикатным. Однако, для кристаллизации калийсодержащего клинопироксена в зоне залеченной трещины необходимо наличие высококалийевого силикатного расплава. Таким образом, по мере кристаллизации клинопироксена в зоне трещины количество силикатного

расплава уменьшалось, а доля карбонатитового возрастала, и, соответственно, полифазные включения, найденные в зоне трещины, наиболее вероятно, представляют собой несмешивающиеся силикатный и карбонатитовый расплавы.

Практическая значимость и ценность научной работы соискателя: Результаты данного диссертационного исследования могут послужить основой для построения геодинамических моделей субдукционно-коллизонных зон. Выявление природного калиевого кимрита в карбонатно-силикатных породах Кокчетавского массива может способствовать утверждению нового минерального вида.

Соответствие диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите: Диссертационная работа Михно А.О. представляет собой научно-квалификационную работу, посвященную исследованию особенностей минералогии и флюидного режима образования карбонатно-силикатных пород сверхвысоких давлений Кокчетавского массива. Область исследования полностью соответствует паспорту специальности **25.00.05 (Минералогия, кристаллография) по геолого-минералогическим наукам, а именно пункту 2.** Минералогия земной коры и мантии Земли, ее поверхности и дна океанов.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем: Основные научные результаты и материалы диссертационного исследования полно изложены в научных публикациях соискателя А.О. Михно (с соавторами). По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе 2 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также 2 статьи в зарубежных научных изданиях.

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

1. **Михно А.О.**, Корсаков А.В. Прогрессивная зональность по К в клинопироксене ультравысокобарных неалмазоносных гранат-клинопироксеновых пород месторождения Кумды-Коль (Кокчетавский массив) // *Доклады Академии Наук.* – 2012. – Т. 447. – С.552-556.

2. **Mikhno A.O.**, Korsakov A.V. K₂O prograde zoning pattern in clinopyroxene from the Kokchetav diamond-grade metamorphic rocks: Missing part of metamorphic history and location of second critical end point for calc-silicate system. // *Gondwana Research.* – 2013. – V. 23. – P. 920-930.

3. **Mikhno A.O.**, Schmidt U., Korsakov A.V. Origin of K-cymrite and kokchetavite in the polyphase mineral inclusions from Kokchetav UHP calc-silicate rocks: Evidences from Confocal Raman Imaging. // *European Journal of Mineralogy.* – 2013. – V. 25. – P. 807-816.

4. **Михно А.О.**, Корсаков А.В. Карбонатитовый, силикатный и сульфидный расплавы: гетерогенность минералообразующей среды в породах сверхвысоких давлений Кокчетавского массива. // *Геология и геофизика.* – 2015. – Т. 56. – № 1-2. – С. 110-132.

Диссертация «**Особенности минералогии и флюидный режим образования карбонатно-силикатных пород Кокчетавского массива**» Михно Анастасии Олеговны рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография».

Заключение принято на расширенном заседании лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений ИГМ СО РАН (№ 451). Присутствовало на заседании 22 человека (из них 8 докторов геол.-мин. наук, а также 9 кандидатов геол.-мин. наук, 1 н.с., 1 м.н.с, 1 аспирант, 2 инженера). Результаты открытого голосования по вопросу принятия

заклучения по диссертации А.О. Михно: «за» –22 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 451/2015-03 от 3 июня 2015 г.



Заклучение оформили:

Афанасьев Валентин Петрович
доктор геолого-минералогических наук, главный
научный сотрудник лаборатории минералов
высоких давлений и алмазных месторождений
(№451) ИГМСО РАН