

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



апрель 2021 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 «Минералогия и условия образования алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский (Кокчетавский массив)» выполнена в лаборатории теоретических и экспериментальных исследований высокобарического минералообразования (№452) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Во время подготовки диссертации соискатель Резвухина Ольга Владимировна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории теоретических и экспериментальных исследований высокобарического минералообразования в должности младшего научного сотрудника, затем, по настоящее время, в должности научного сотрудника.

В 2017 году Резвухина О.В. 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 2017- 2020 гг. обучалась очно в аспирантуре ИГМ СО РАН по специальности 25.00.05 - «минералогия, кристаллография», в 2020 году получен диплом об окончании аспирантуры.

Научный руководитель - Корсаков Андрей Викторович, профессор РАН, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией теоретических и

экспериментальных исследований высокобарического минералообразования (№452) ИГМ СО РАН.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Цель работы: выявление минералого-петрографических особенностей и условий образования алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский.

Актуальность исследований и постановка научной проблемы.

Континентальная кора является основным концентратором K, Th, U и ее субдукция может приводить рециклированию этих элементов в мантию Земли. Считается, что образование алмаза в глубокосубдуцированных коровых породах и породах верхней мантии связано с просачиванием ультракалийевых флюидов/расплавов. В качестве источника данных флюидов/расплавов обычно рассматривается континентальная кора. Экспериментальные исследования поведения материала континентальной коры в ходе субдукции позволили выявить следующую последовательность его трансформации с ростом температуры и давления: (1) дегидратация водосодержащих минералов и образование флюидной фазы, (2) отделение флюидной фазы и метасоматическое преобразование и/или плавление вышележащих пород верхней мантии; (3) появление силикатного расплава *in situ* и образование ассоциации гранат+кианит+клинопироксен+фенгит+коэсит+расплав, стабильной в условиях пика метаморфизма при 4-5 ГПа и 950-1000°C. Данная ассоциация была обнаружена в породах Кокчетавского массива и массива Эрцгебирге. Использование метапелитовой системы K(N)CM(F)ASH в качестве базовой обусловлено тем, что она позволяет охарактеризовать взаимоотношения основных минералов сверхвысокого давления практически всего спектра пород, характерных для континентальной коры. Однако регрессивные преобразования часто практически полностью уничтожают первичные высокобарические парагенезисы, что особенно часто наблюдается в метаосадочных породах. Несмотря на многолетние исследования высокобарических пород Кокчетавского массива, большинство наиболее интересных и значимых результатов были получены для карбонатно-силикатных пород, эклогитов, кальцитовых и доломитовых мраморов. В то же время, метапелиты, метаморфизованные в условиях алмазной субфации остаются одним из наименее изученных типов пород, несмотря на обширную экспериментальную базу, накопленную за последние годы. В рамках диссертационной работы проведено детальное минералого-геохимическое исследование алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский (Кокчетавский массив). Данные породы могут быть адекватно смоделированы в системах $K_2O-(Na_2O)-CaO-MgO-(FeO)-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$, что позволяет применить к алмазоносным кианитовым гнейсам полученные ранее результаты экспериментальных работ, а также оценить степень завершенности метаморфических реакций на разных этапах преобразования этих уникальных пород.

Наиболее важные научные результаты, полученные соискателем:

В ходе исследований установлено,

Спектроскопическое (КЛ и КР) исследование порфиробластов кианита из высокоглиноземистых гнейсов участка Барчинский (Кокчетавский массив) выявило присутствие в них крупных гомогенных ядер и нескольких (до 7) внешних ростовых зон, что свидетельствует о сложной ростовой истории этого минерала. Подавляющее большинство включений коэсита и алмаза было

обнаружено в кианите, тогда как в гранате и цирконе (признанных минералах-«контейнерах») они редки. Эти находки позволяют рассматривать кианит как надежный «контейнер», сохраняющий реликтовые высокобарические ассоциации.

Минимальные РТ-параметры прогрессивного этапа метаморфизма алмазоносных кианитовых гнейсов, полученные по включениям Zn-содержащего ставролита в рутиле, составляют ~1 ГПа и <600°C. Оценки температур пика метаморфизма, рассчитанные по двум независимым геотермометрам – Zr-в-рутиле и Ti-в-цирконе, составляют 900±30°C при давлениях 5 ГПа. РТ-параметры этапов регрессивного метаморфизма, реконструированные по гранат-фенгитовому геотермометру, составляют 720°C для 1 ГПа, по гранат-биотитовому геотермометру – 690°C для 1 ГПа, по полевошпатовому геотермометру – менее 600°C для давлений менее 1.2 ГПа.

U-Pb возраст зерен рутила из алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский составляет 519±1.6 млн. лет, что моложе U-Pb возраста пика метаморфизма, полученного по циркону (530±7 млн. лет). Возраст рутила соответствует времени, когда породы находились при РТ-условиях эпидот-амфиболитовой фации (~460–640°C и 1 ГПа). Оценки скоростей охлаждения исследуемых пород от пиковых параметров метаморфизма, полученных по Zr-в-рутиле и Ti-в-цирконе геотермометрам (900±30°C и 5 ГПа), до температур закрытия U-Pb системы в рутиле составляют 27–47±10°C/млн. лет. Оценки скоростей эксгумации алмазоносных пород варьируют от 1.3 до 1.5 см/год.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации:

Основой для проведения исследования стала коллекция алмазоносных кианитовых гнейсов, собранная автором в рамках полевых работ в течение пяти сезонов на участке Барчинский (Кокчетавский массив), а также коллекция алмазоносных кианитовых гнейсов, предоставленная научным руководителем д.г.-м.н. Корсаковым А.В. Пробоподготовка, лабораторные и аналитические исследования алмазоносных кианитовых гнейсов проводились лично автором с 2014 по 2021 г.

Научная новизна и практическая значимость

1. Методами катодолюминесценции, дифракции отраженных электронов и Рамановской спектроскопии впервые определены особенности внутреннего строения порфировластов кианита из алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский. Реконструирована стадийность кристаллизации порфировластов кианита.
2. Изучение включений в акцессорных минералах-контейнерах цирконе и рутиле впервые позволило реконструировать прогрессивную часть РТ-тренда эволюции Кокчетавских алмазоносных пород метапелитового состава. Показано, что рутил, наряду с цирконом, является минералом-контейнером, способным сохранять реликтовые ассоциации, образованные на прогрессивном этапе метаморфизма.
3. Методами минеральной термобарометрии для алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский впервые были получены независимые оценки РТ-параметров отдельных эпизодов прогрессивного этапа метаморфизма (<1 ГПа и <600°C; 3.8 ГПа и 890°C), пика метаморфизма (5 ГПа и 900±30°C) и регрессивного этапа метаморфизма (600-720°C и 1-1.2 ГПа).
4. Впервые методом TIMS произведено U-Pb датирование рутила (519±1.6 млн. лет) из алмазоносных кианитовых гнейсов Кокчетавского массива, а также оценены скорости остывания (27-47±10°C/млн. лет) и эксгумации (1.3-1.5 см/год) исследуемых пород.

Результаты данного диссертационного исследования могут быть использованы для реконструкции условий образования алмазоносных метапелитов, а также геодинамического моделирования процесса эксгумации пород сверхвысоких давлений в зонах субдукции. Расширен ряд породообразующих и аксессуарных минералов, которые могут быть использованы для реконструкции различных этапов, запечатленных в породах со сложной термально-метаморфической историей.

Соответствие диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите:

Диссертационная работа Резвухиной О.В. представляет собой законченную научную работу, посвященную минералогии и условиям образования алмазоносных метапелитов. **Работа соответствует специальности 25.00.05 по геолого-минералогическим наукам в следующих разделах:** 2. Минералогия земной коры и мантии Земли, ее поверхности и дна океанов; 3. Физика минералов и современные методы исследования морфологии, внутреннего строения, структурного несовершенства, фазово-химической неоднородности и связанных с ними свойств реальных минералов, изучение их вариаций в зависимости от условий образования и изменения в природных и технологических процессах; 11. Экспериментальная минералогия.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

Основные научные результаты и материалы диссертационного исследования полно изложены в научных публикациях соискателя Резвухиной О.В. (с соавторами). По теме диссертации опубликовано 10 работ, которые **включены в перечень списка ВАК.**

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

1. Shchepetova O.V., Korsakov A., Mikhailenko D., Zelenovskiy P., Shur V., Ohfuji H. Forbidden mineral assemblage coesite-disordered graphite in diamond-bearing kyanite gneisses (Kokchetav Massif) // Journal of Raman Spectroscopy. 2017. V. 48. P. 1606-1612.
2. Mikhno A.O., Musiyachenko K.A., Shchepetova O.V., Korsakov A.V., Rashchenko S.V. CO₂-bearing fluid inclusions associated with diamonds in zircon from the UHP Kokchetav gneisses // Journal of Raman Spectroscopy. 2017. V. 48. P. 1566-1573.
3. Михайленко Д.С., Щепетова О.В., Мусияченко К.А., Корсаков А.В., Охфуджи Х., Пеков И.В. Новые данные о взаимоотношениях графита и алмаза в гнейсах Кокчетавского массива (Северный Казахстан) // Доклады Академии наук. 2018. Т. 480. № 6. С. 713-716.
4. Korsakov A.V., Rezvukhina O.V., Jaszczak J.A., Rezvukhin D.I., Mikhailenko D.S. Natural Graphite Cuboids // Minerals. 2019. V. 9 (2), 110.
5. Щепетова О.В., Корсаков А.В., Зеленовский П.С., Михайленко Д.С. К вопросу о механизме образования разупорядоченного графита в алмазоносных комплексах сверхвысоких давлений // Доклады Академии наук. 2019. Т. 484. № 2. С. 215-219.
6. Михайленко Д.С., Корсаков А.В., Резвухина О.В., Головин А.В., Соболев Н.В. Находка коэсита в алмазоносном кианитовом эклогите из кимберлитовой трубки Удачная (Сибирский кратон) // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487. №4. С. 428-431.
7. Korsakov, A. V., Rezvukhina, O. V., Rezvukhin, D. I., Greshnyakov, E. D., Shur, V. Y. Dumortierite and tourmaline from the Barchi-Kol diamond-bearing kyanite gneisses (Kokchetav

6. Михайленко Д.С., Корсаков А.В., Резвухина О.В., Головин А.В., Соболев Н.В. Находка коэсита в алмазоносном кианитовом эклогите из кимберлитовой трубки Удачная (Сибирский кратон) // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487. №4. С. 428-431.

7. Korsakov, A. V., Rezvukhina, O. V., Rezvukhin, D. I., Greshnyakov, E. D., Shur, V. Y. Dumortierite and tourmaline from the Barchi-Kol diamond-bearing kyanite gneisses (Kokchetav massif): A Raman spectroscopic study and petrological implications // Journal of Raman Spectroscopy. 2020. V. 51, 1839-1848.

8. Rezvukhina O.V., Korsakov A.V., Rezvukhin D.I., Zamyatin D.A., Zelenovskiy, P.S., Greshnyakov E.D., Shur V. Ya. A combined Raman spectroscopy, cathodoluminescence and EBSD study of kyanite porphyroblasts from diamondiferous and diamond-free metamorphic rocks (Kokchetav massif) // Journal of Raman Spectroscopy. 2020. V. 51, 1425-1437.

9. Rezvukhina O.V., Korsakov A.V., Rezvukhin D.I., Mikhailenko D.S., Zamyatin D.A. Greshnyakov E.D., Shur V.Ya. Zircon from diamondiferous kyanite gneisses of the Kokchetav massif: Revealing growth stages using an integrated cathodoluminescence, Raman spectroscopy, electron microprobe approach // Mineralogical Magazine. 2020. V. 6, 949-958.

10. Михайленко Д.С., Корсаков А.В., Охфуджи Х., Резвухина О.В., Пеков И.В. К вопросу об образовании поликристаллических агрегатов графита в высокобарических метаморфических породах (на примере Кокчетавского массива, Северных Казахстан) // Доклады Академии наук. 2021. Т. 497. № 1. С. 37-42.

Диссертация «**Минералогия и условия образования алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский (Кокчетавский массив)**» Резвухиной Ольги Владимировны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 - «минералогия, кристаллография».

Заключение принято на расширенном заседании лаборатории теоретических и экспериментальных исследований высокобарического минералообразования (№452). Присутствовали на заседании 24 человека (из них: 6 д.г.-м.н., 8 к.г.-м.н.).

Заключение оформил:



Головин Александр Викторович
Кандидат геолого-минералогических наук
Старший научный сотрудник
Лаборатория теоретических и
экспериментальных исследований
высокобарического минералообразования
(№452) ИГМ СО РАН