

# УТВЕРЖДАЮ

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



20 25 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

на основании решения расширенного заседания лаборатории метаморфизма и  
метасоматоза (№ 440) Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения  
Российской академии наук

Диссертация «Поведение структур К-кимрита ( $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ ) и коксставита  
( $KAlSi_3O_8$ ) при высоком давлении» выполнена в лаборатории метаморфизма и  
метасоматоза (№ 440) Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения  
Российской академии наук.

Романенко Александр Владимирович, 1996 года рождения, гражданство РФ, окончил  
Новосибирский государственный университет (Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Новосибирский национальный-исследовательский государственный университет») в  
2020 году по направлению «04.04.01 – химия» (магистр).

В 2020 году зачислен в число аспирантов 1-ого курса на очную форму обучения по  
основной профессиональной образовательной программе высшего образования  
программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по  
специальности «05.06.01 – науки о Земле». Отчислен(а) из аспирантуры в 2023 году в  
связи с окончанием обучения.

С 2016 года является сотрудником лаборатории метаморфизма и метасоматоза  
(№440) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской  
академии наук (с 2016 по 2018 на должности лаборанта, с 2018 по 2020 год –

инженера-исследователя и с 2020 года по настоящее время – младшего научного сотрудника).

**Научный руководитель** – Ращенко Сергей Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории метаморфизма и метасоматоза (№ 440) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Текст диссертации был проверен в системе «Антиплагиат» и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

По итогам обсуждения диссертационного исследования «Поведение структур К-кимрита ( $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ ) и кокчетавита ( $KAlSi_3O_8$ ) при высоком давлении», представленного на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», принято следующее заключение:

- **Оценка выполненной соискателем работы**

Работа выполнена на высоком уровне с привлечением комплекса современных аналитических методов

- **Актуальность темы диссертационного исследования**

Субдукция коровых пород способна влиять на геохимические характеристики мантии, привнося в неё вещество океанической и континентальной коры. Системы, моделирующие породы океанической коры, хорошо изучены при  $PT$ -параметрах субдукции, в то время как поведение в субдукционных процессах пород, содержащих калиевый полевой шпат, изучено гораздо слабее и, главным образом, на примере «сухих» модельных составов. В присутствии же водосодержащего флюида поведение калиевых полевых шпатов существенно изменяется в сравнении с безводной системой. Согласно экспериментам, при высоких  $PT$ -параметрах стабильной фазой в системе  $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$  является «К-кимрит» ( $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ ), обладающий клатратной структурой.

Термодинамические расчеты в многокомпонентной системе NCKFMASH- $H_2O$ , моделирующие состав флюида насыщенной континентальной коры, показали, что геотерма «горячей» субдукции пересекает поле стабильности К-кимрита в интервале глубин 200–310 км (~6.5–10 ГПа). При этом экспериментально стабильность К-кимрита и параметры его уравнения состояния, используемые в термодинамических расчетах, исследованы только в диапазоне давлений до 6 ГПа. Эти обстоятельства требуют проведения уточняющих экспериментов при больших давлениях.

Последние экспериментальные исследования в азотсодержащей метапелитовой системе показали, что в структуру К-кимрита может быть включен молекулярный азот (до 4 массовых процентов). Таким образом, К-кимрит можно рассматривать и как фазу-концентратор этого элемента, способную транспортировать азот в мантию в ходе субдукции. Однако возможность обмена летучими компонентами между азотсодержащим К-кимритом и сосуществующим флюидом остается неизученной.

Экспериментально также была получена дегидратированная форма К-кимрита, сохраняющая топологию его кристаллической структуры. Природный аналог данной дегидратированной фазы был обнаружен в 2004 году во включениях в минералах метаморфических пород сверхвысокого давления Кокчетавского массива и зарегистрирован как минерал «кокчетавит». Генезис этой и многочисленных последующих находок кокчетавита в минеральных включениях из пород

метаморфических комплексов и импактитов не имеет пока однозначной интерпретации. В пользу гипотезы образования кокчетавита при высоком давлении говорит необычная стабильность (по крайней мере до 10 ГПа) его «рыхлой» каркасной структуры, установленная в КР-спектроскопических экспериментах и представляющая большой интерес для кристаллографического изучения *in situ*.

- **Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

Работа, подготовленная соискателем, представляет собой итог исследований, проведенных в лаборатории метаморфизма и метасоматоза ИГМ СО РАН в период с 2018 по 2024гг. Автор непосредственно участвовал в планировании, подготовке и проведении экспериментов. В основе работы лежат данные лабораторных и синхротронных монокристальных дифракционных экспериментов, выполненных при нормальных условиях и при высоком давлении до 20 ГПа с использованием техники алмазных наковален. Для лабораторных экспериментов при комнатных условиях использовался дифрактометр Oxford Diffraction Gemini R Ultra в Новосибирском государственном университете.

Монокристальные дифракционные эксперименты при высоком давлении (в гидростатических условиях) были выполнены в Немецком национальном синхротронном центре (DESY) на станции P02.2. Данные высокотемпературной и высокобарической спектроскопии комбинационного рассеяния были получены на спектрометре Horiba Jobin Yvon LabRAM HR800 в ИГМ СО РАН. Большинство экспериментов и вся обработка данных проводились соискателем.

- **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Достоверность полученных результатов доказывается высокими техническим и методическим уровнями исследований, об этом же свидетельствуют публикации соискателя в международных рецензируемых журналах.

#### **Научная новизна результатов проведенных исследований и их практическая значимость**

Благодаря использованию монокристальной рентгеновской дифракции, в данной работе впервые удалось обнаружить сверхструктурные рефлексы на дифракционных снимках кокчетавита и однозначно показать, что он характеризуется пространственной группой симметрии  $P6/mcc$  ( $Z = 8$ ), не выявленную ранее с использованием порошковой дифракции. В данной работе впервые экспериментально зафиксированы фазовые переходы и установлена эволюция кристаллических структур К-кимрита и кокчетавита при повышении давления, а также параметры сжимаемости этих фаз, необходимые для термодинамического моделирования минеральных равновесий с их участием. Поляризационная зависимость КР-спектров К-кимрита и аномальное смещение полос OH-колебаний при повышении давления также описаны в данной работе впервые. В работе показаны и сопоставлены температурные зависимости КР-спектров, связанные с удалением гостевых молекул  $H_2O$  и  $N_2$  из структуры К-кимрита.

- **Ценность научных работ соискателя ученой степени**

Экспериментально полученные параметры уравнений состояния К-кимрита и кокчетавита будут востребованы для термодинамического моделирования минеральных равновесий в породах субдуцирующей континентальной коры.

- **Внедрение результатов диссертационного исследования в практику**

В работе установлено, что анизотропия структур К-кимрита и кокчетавита ведёт к значительной зависимости интенсивности линий в спектрах комбинационного рассеяния от ориентации образца, что является необходимой информацией для корректной диагностики этих фаз.

- **Научная специальность, которой соответствует диссертация**

Результаты работы соответствуют пунктам 8 (Кристаллография и кристаллохимия минералов, их техногенных и синтетических аналогов), 10 (Теория симметрии кристаллов) и 11 (Рентгеноструктурный анализ и другие методы изучения строения кристаллов) паспорта научной специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

- **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Основные положения работы представлены на 4 российских и 1 международной конференции.

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. **Alexandr V. Romanenko**, Sergey V. Rashchenko, Alexander G. Sokol, Andrey V. Korsakov, Yurii V. Seryotkin, Konstantin V. Glazyrin, and Kira Musiyachenko, "Crystal structures of K-cymrite and kokchetavite from single-crystal X-ray diffraction", *American Mineralogist*, Volume 106, pages 404–409, (2021), 10.2138/am-2020-7407
2. Andrey V. Korsakov, **Alexandr V. Romanenko**, Alexander G. Sokol, Kira A. Musiyachenko, "Raman spectroscopic study of the transformation of nitrogen-bearing K-cymrite during heating experiments", *Journal of Raman Spectroscopy*, Volume 54, pages 1183-1190, (2023), 10.1002/jrs.6541
3. **Alexandr V. Romanenko**, Sergey V. Rashchenko, Konstantin V. Glazyrin, , Andrey V. Korsakov, Alexander G. Sokol, Konstantin A. Kokh, "Compressibility and pressure-induced structural evolution of kokchetavite, hexagonal polymorph of  $KAlSi_3O_8$ , by single-crystal X-ray diffraction", *American Mineralogist*, Volume 109.7, (2024): 1284-1291,
4. **Alexandr V. Romanenko**, Sergey V. Rashchenko, Andrey V. Korsakov & Alexander G. Sokol "High pressure behavior of K-cymrite ( $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ ) crystal structure", *Physics and chemistry of minerals*, Volume 51, article number 36, (2024), 10.1007/s00269-024-01296-3

**Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на научных конференциях:**

1. Романенко, А. В. Кристаллическая структура и сжимаемость высокобарического  $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$  и его дегидратированной формы / А. В. Романенко // МНСК-2020: Материалы 58-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 10–13 апреля 2020 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2020. – С. 148.
2. Романенко А.В., Ращенко С.В., Корсаков А.В., Глазырин К.В. Уравнение состояния и эволюция структуры кокчетавита при высоком давлении по данным монокристалльной рентгеновской дифракции / А. В. Романенко // ВЕСЭПМГ 2023: Тезисы докладов Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии, Москва, 11-12 апреля 2023 г. – Москва: Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского, 2023. – С. 107.
3. Romanenko A.V., Rashchenko S.V., Korsakov A.V. «High-pressure behavior of K-cymrite OH-band» / A.V. Romanenko // GeoRaman 2022: Book of Abstracts of

- 15th International GeoRaman Conference, г. Прага, Чехия, 29 августа – 1 сентября 2022,) – Prague: Charles University, 2022. – С. 58
4. Romanenko A.V., Rashchenko S.V., Korsakov A.V. «HPHT decomposition of K-cymrite ( $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ )» / A.V. Romanenko // GeoRaman 2022: Book of Abstracts of 15th International GeoRaman Conference, г. Прага, Чехия, 29 августа – 1 сентября 2022,) – Prague: Charles University, 2022. – С. 59
5. Романенко, А. В. Сжимаемость и структурная эволюция при высоком давлении гексагонального полиморфна  $KAlSi_3O_8$  по данным монокристальной рентгеновской дифракции / А. В. Романенко // МНСК-2022: Материалы 60-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 10–20 апреля 2022 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2022. – С. 194.
6. Романенко, А. В. Ращенко С.В., Корсаков А.В. Разложение К-кимрита ( $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ ) при высоких РТ-параметрах / А. В. Романенко // ВЕСЭПМГ 2023: Тезисы докладов Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии, Москва, 11-12 апреля 2023 г. – Москва: Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского, 2023. – С. 111.

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 18.03.2023) и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включенными в диссертацию.

#### Заключение

Диссертационная работа Романенко Александра Владимировича «Поведение структур К-кимрита ( $KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$ ) и кокчетавита ( $KAlSi_3O_8$ ) при высоком давлении» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Заключение принято на заседании лаборатории лаборатории метаморфизма и метасоматоза (№ 440) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

Присутствовало на заседании 17 чел.

Результаты голосования: «за» – 17 чел., «против» – 0 чел.,  
«воздержалось» – 0 чел

Председательствующий на заседании

Сокол Эллина Владимировна,

доктор геолого-минералогических наук  
главный научный сотрудник лаборатории  
метаморфизма и метасоматоза (№ 440)  
ИГМ СО РАН



(Подпись)

Сокол Э. В.

(ФИО)