

**ЗАКЛЮЧЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.067.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В. С. СОБОЛЕВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

Аттестационное дело _____

Решение диссертационного совета от 22 июня 2021 г. № 02/3.

О присуждении **Резвухиной Ольге Владимировне**, гражданке РФ, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация «**Минералогия и условия образования алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский (Кокчетавский массив)**» по специальности 25.00.05 –«минералогия, кристаллография», принята к защите 21 апреля 2021 г., протокол № 02/2 диссертационным советом Д 003.067.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3) приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель **Резвухина Ольга Владимировна**, 1993 года рождения, В 2017 году с отличием окончила магистратуру геолого-геофизического Новосибирского государственного университета по направлению «геология» со специализацией «геохимия». В 2020 году окончила очную аспирантуру при ФГБУН Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук **Корсаков Андрей Викторович** работает в лаборатории теоретических и экспериментальных исследований высокобарического минералообразования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук в должности заведующего лабораторией.

Официальные оппоненты: 1) **Бобров Андрей Викторович**, профессор РАН, профессор кафедры петрологии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (г. Москва), – доктор геолого-минералогических наук; 2) **Сафонов Олег Геннадьевич**, профессор РАН, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского Российской академии наук, (г. Черноголовка), – доктор геолого-минералогических наук, **дали положительные отзывы на диссертацию**.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры СО РАН (г. Иркутск), в своем положительном заключении, подписанном **Скляровым Евгением Викторовичем**, член.-корр. РАН, главным

научным сотрудником и **Донской Татьяной Владимировной**, доктором геолого-минералогических наук, ведущим научным сотрудником, указала, что представленная диссертационная работа является весьма актуальным, имеющим генетическое значение и практическую значимость, исследованием и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант О.В. Резвухина заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Соискатель О.В. Резвухина имеет 41 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации - 37, из них 11 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях:

1. **Shchepetova O.V.**, Korsakov A., Mikhailenko D., Zelenovskiy P., Shur V, Ohfuiji 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). – P. 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 massif): A Raman spectroscopic study and petrological implications // Journal of Raman Spectroscopy. – 2020. – V. 51. – P. 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. – P. 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. – P. 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.

11. Rezvukhina O.V., Skublov S.G., Rezvukhin D.I., Korsakov A.V. Rutile in diamondiferous metamorphic rocks: New insights from trace-element composition, mineral/fluid inclusions, and U-Pb ID-TIMS dating // Lithos. – 2021. – V. 394-395, 106172.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов (все положительные) от: 1) к.г.-м.н. Бушмина Сергея Алексеевича, доцента, заведующего лабораторией флюидных процессов ФГБУН «Института геологии и геохронологии докембрия РАН», 2) д.г.-м.н. Дегтярева Кирилла Евгеньевича, академика РАН, директора ГИН РАН, к.г.-м.н. Третьякова Андрея Алексеевича, ведущего научного сотрудника, зав. лабораторией геодинамики позднего докембрия и фанерозоя ГИН РАН и к.г.-м.н. Скобленко Анфисы Владимировны, старшего научного сотрудника ГИН РАН, 3) к.г.-м.н. Королева Нестера Михайловича, старшего научного сотрудника Института геологии и геохронологии докембрия РАН, 4) к.г.-м.н. Савельевой Валентины Борисовны, старшего научного сотрудника ФГБУН Института земной коры СО РАН и к.г.-м.н. Дымшиц Анны Михайловны, старшего научного сотрудника ФГБУН Института земной коры СО РАН, 5) д.г.-м.н. Скуброва Сергея Геннадьевича, доцента, главного научного сотрудника ФГБУН «Института геологии и геохронологии докембрия РАН», 6) к.г.-м.н. Азимова Павла Яковлевича, старшего научного сотрудника ФГБУН «Института геологии и геохронологии докембрия РАН», 7) д.г.-м.н. Пыстиной Юлии Владимировны, профессора, ведущего научного сотрудника ФГБУН Института геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми Научного центра УрО РАН, 8) д.г.-м.н. Гаранина Виктора Константиновича, профессора, научного руководителя Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана.

В отзывах отмечено, что работа производит весьма благоприятное впечатление. Все основные результаты отражены в четко сформулированных защищаемых положениях. Автор использовал комплекс методов для изучения алмазоносных кианитовых гнейсов, что подтверждает достоверность полученных результатов, которые имеют как научную, так и практическую значимость. Результаты, полученные Резвухиной О.В., являются совершенно новыми и представляют большой интерес для специалистов в области минералогии и петрологии.

Основные замечания и предложения по автореферату и диссертации касаются следующего:

1. Из отзыва Королева Н.М.

«В Главе 5 автореферата диссертант пишет о том, что «находки Zn-содержащего железистого ставролита в рутиле <...> можно интерпретировать как продукт распада богатого цинком герцинита на регressiveном этапе метаморфизма». В подтверждении своих слов автор приводит ссылки на исследования Stoddard (1979) и Сезаге (1994). Однако оба этих исследования предполагают прямо обратное — распад ставролита с образованием герцинита и других минеральных фаз. Кроме того, химический состав герцинита не позволяет напрямую получить ставролит в качестве дочерней фазы, по причине крайне скучного содержания или даже полного отсутствия кремнезема. Стоит отметить, что диссертант не рассматривает версию образования ставролита за счет предполагаемого распада герцинита как основную, но, тем не менее, она явно требовала более внимательного и тщательного отношения, что, вероятно, позволило бы и вовсе от нее отказаться».

«Пожалуй, самой существенной и бросающейся в глаза нестыковкой в построениях

диссертанта является интерпретация образования дюмортьерита и турмалина на ультравысокобарической стадии метаморфизма. С одной стороны, автор пишет, что: (1) «в структуру дюмортьерита может входить значительное количество бора» и «проведенные нами исследования состава дюмортьерита не выявили высоких концентраций бора»; (2) «на основании близкого расположения дюмортьерита с кристаллами алмаза и коэсита, нами была предложена ультравысокобарическая модель его образования». Одновременно с этим, диссертант утверждает, что «образование включений турмалина в гранате <...> могло происходить в результате его кристаллизации из богатого бором ультравысокобарического флюида». В контексте того, что «в структуру дюмортьерита может входить значительное количество бора», кристаллизация бедного бором дюмортьерита и турмалина из богатого бором флюида на ультравысокобарическом этапе метаморфизма выглядят противоречиво и нуждается в дополнительных пояснениях, которые, по всей видимости, должны быть изложены в тексте диссертации. Более того, при описании минералов в Главе 4 автореферата диссертант подчеркивает, что турмалин встречается исключительно в порфиробластах граната, а дюмортьерит установлен исключительно в порфиробластах кианита. Если образование турмалина, как предполагает автор, происходило на ультравысокобарической стадии метаморфизма из флюида, тогда почему он встречается только лишь в виде включений в гранате»?

«в Главе 4 автореферата утверждается следующее: «в непосредственной близости от кристаллов дюмортьерита были диагностированы кварц, фенгит, рутил и коэсит». На основании каких именно критериев из этого набора минералов, расположенных в непосредственной близости к дюмортьериту, были выбраны исключительно высокобарические фазы — коэсит и алмаз, и оставлены без внимания остальные? Диссертант подчеркивает, что SiO₂ фаза, присутствующая в настоящий момент в виде включений кварца в кианите совместно с дюмортьеритом, не может быть захваченным на ультравысокобарическом этапе метаморфизма коэситом, так как кианит препятствовал обратному полиморфному переходу коэсита в кварц. Рутил также мог быть захвачен на других этапах метаморфической эволюции кианитовых гнейсов, а фенгит диссертант относит непосредственно к регрессивному этапу метаморфизма».

2. Из отзыва Савельевой В.Б. и Дымшиц А.М.:

«В то же время, из автореферата не ясно, почему при расчете скорости остывания алмазоносных кианитовых гнейсов был выбран возраст пика метаморфизма 528 млн. лет, хотя имеются и более древние датировки, например, 537±7 млн. лет [Katayama et al., 2002]»

3. Из отзыва Скуброва С.Г.:

«В настоящее время формат автореферата, как он составлен — по главам диссертации или по защищаемым положениям, строго не регламентирован. Диссертант выбрал вариант по главам диссертации. С одной стороны, в таком виде проще структурировать разноплановую информацию, полученную в ходе исследования, по минеральным видам, присутствующим в алмазоносных гнейсах. С другой стороны, обоснование всех трех защищаемых положений, на взгляд автора отзыва, оказалось «спрессовано» в 5-й главе, несколько перегруженной информацией. Интересные фактические наблюдения и аналитические данные (например, по кианиту и рутилу), представленные в 4-й главе, оказались оторванными от выводов диссертанта, сделанных на их основе в 5-й главе. В

связи с этим возникает вопрос, насколько рационально диссертант распорядился объемом автореферата, чтобы, не экономя места, выдавать не самую важную и не нужную для обоснования защищаемых положений информацию про различные минералы гнейсов (например, про слюды, полевые шпаты, пирротин и т.п.). Как минимум, описание минеральных ассоциаций можно было свести к краткой табличной форме».

4. Из отзыва Азимова П.Я.:

«Одна из причин плохой сохранности пиковых парагенезисах в метапелитах-относительная лёгкость их мигматизации, при которой порода подвергается переработки во всём объёме. При характеристике гнейсов автор ничего не говорит, подвергались ли они мигматизации, и если да — на какой стадии метаморфизма, насколько сильно, что собой представляют мигматиты?»

«В тексте автореферата и во втором защищаемом положении автор приводит оценки температур и давлений. Но все указанные автором инструменты (T_i в цирконе, Zr в рутиле, гранат-фенгитовый, гранат-биотитовый, двуполовошпатовый) - это геотермометры. Неясно, как определялись давления. Или они оценены исходя из полей устойчивости минералов и парагенезисов? Если так, то это лучше оговорить явно.»

«Во введении при описании проблемы упоминается ассоциация $Grt + Ky + Cpx + Phe + Coe + Melt$, появляющаяся, в том числе, в Кокчетаве. Не совсем понятно: так был ли реликтовый клинопироксен (омфацит) обнаружен автором в исследованных гнейсах? Если нет, то какова, по мнению автора, был пиковый парагенезис в метапелитах — этот или какой-то другой? В каком минерале присутствовали Ca и Mg в условиях неустойчивости плагиоклаза?»

5. Из отзыва Гаранина В.К.:

«Есть некоторые замечания. Все-таки хотелось бы несколько больше иметь информации о различиях или совпадениях по РТ параметрам разных алмазоносных типов пород в Кокчетавском массиве. Изученный блок имеет ли какие-то свои особенности в генезисе, которые отличают этот блок от других, ранее изученных алмазоносных типов в Кокчетавском массиве. Также было бы желательно получить несколько больше информации о самих алмазах. Насколько детально изучались сами алмазы».

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Бобров Андрей Викторович и Сафонов Олег Геннадьевич являются высококвалифицированными специалистами в области кристаллографии, минералогии и петрологии. Оппоненты имеют многочисленные публикации в соответствующей данной диссертационной работе в сфере исследования и способны объективно оценить данную работу.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что направление ее научно-исследовательской деятельности полностью соответствует тематике диссертации, а специалисты могут объективно и аргументировано оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) определены особенности внутреннего строения порфиробластов кианита из алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский, 2) реконструирована прогрессивная часть РТ-тренда эволюции Кокчетавских алмазоносных пород метапелитового состава, 3) показано, что рутил, наряду с цирконом, является надежным

минералом-«контейнером», способным сохранять реликтовые ассоциации, образованные на прогрессивном этапе метаморфизма, 4) 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 1.0–2.2 ГПа), 5) 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.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны следующие положения:

1. 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.

2. 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 2.2 ГПа.

3. 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.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов исследования: оптическая и сканирующая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, КР-спектроскопия, масс-спектрометрия вторичных ионов, U-Pb ID-TIMS датирование, КЛ-микроскопия. **Изучены** минералого-петрографические особенности алмазоносных кианитовых гнейсов участка Барчинский. **Показано** разнообразие химического состава породообразующих и акцессорных минералов исследуемых пород. **Изложены** модели образования породообразующих и акцессорных минералов алмазоносных кианитовых гнейсов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики

состоит в том, что полученные в рамках данной диссертации результаты, могут быть использованы для реконструкции условий образования алмазоносных метапелитов, а также геодинамического моделирования эксгумации пород сверхвысоких давлений в зонах субдукции.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Результаты аналитических работ получены с помощью современного сертифицированного оборудования: анализы химического состава породообразующих и акцессорных минералов выполнены с использованием растрового сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3LMU, совмещенного с энергодисперсионной системой химического анализа INCA Energy 450+ XMax 80 и рентгеноспектрального микроанализатора JEOL JXA-8100. Анализ редкоземельного состава минералов был проведен на ионном зонде Cameca IMS-4f. U-Pb ID-TIMS датирование проводилось на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON TI. Индивидуальные КР-спектры получены с помощью спектрометра HR-800 (Horiba Jobin Yvon). КЛ-топограммы были получены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6510LV с приставкой Gatan Chroma CL2UV.

Установлена согласованность результатов исследования соискателя с данными литературных источников по указанной тематике, отражающих основные представления об эволюции и условиях образования ультравысокобарических пород.

При выполнении работ использован фактический материал, представленный коллекцией алмазоносных кианитовых гнейсов, собранных автором в рамках полевых работ в течение пяти сезонов на участке Барчинский, а также коллекция алмазоносных кианитовых гнейсов, предоставленная научным руководителем. Результаты исследования апробированы на научных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в пробоподготовке, лабораторных и аналитических исследованиях. Результаты проведенных исследований обсуждались на различных всероссийских и международных конференциях, материалы диссертации опубликованы в 37 работах, из них 11 статей в журналах из списка ВАК и Web of science и 26 тезисов докладов. Соискатель самостоятельно определила цель и задачи исследований, грамотно выбрала и умело использовала соответствующий поставленной задаче набор методов анализа первичного материала, обработку полученных данных, грамотно и лаконично сформулировала выводы.

На заседании 22.06.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Резвухиной О.В. учёную степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 17 человек (17 членов совета присутствовало на заседании), из них 9 докторов наук по специальности 25.00.05, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета Д 003.067.02, академик РАН

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 003.067.02, д.г.-м.н.
23 июня 2021 г.

Шацкий В.С.

Гаськова О.Л.

