

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 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 НАУК

аттестационная дело № _____
решение диссертационного совета от 28 февраля 2017 г. №02/4

О присуждении Михайленко Денису Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация «Минералогия графит- и алмазосодержащих ксенолитов из кимберлитовой трубки «Удачная»» по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография», принята к защите 28 декабря 2016г., протокол № 02/7 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, просп. акад. Коптюга, д.3), Приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Михайленко Денис Сергеевич, 1990 г. рождения, в 2013 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева». В 2016 году окончил очную аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук. В настоящее время работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (лаборатория минералов высоких давлений и алмазных месторождений).

Диссертация 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.

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, Корсаков Андрей Викторович, заведующий лабораторией минералов высоких давлений и алмазных месторождений ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

Официальные оппоненты: 1) **Гаранин Виктор Константинович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель

минералогического музея им. А.Е. Ферсмана; 2) **Бобров Андрей Викторович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры петрологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт экспериментальной минералогии Российской академии наук (ИЭМ РАН) (г. Черноголовка)** в своем положительном заключении, подписаном Сафоновым Олегом Григорьевичем, доктором геолого-минералогических наук, заведующим лабораторией литосферы, и Шаповаловым Юрием Борисовичем, доктором геолого-минералогических наук, член-корреспондентом РАН, директором Института экспериментальной минералогии РАН, указала, что представленная на рассмотрение диссертационная работа по своему теоретическому уровню и практической значимости соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Михайленко Денис Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности «минералогия, кристаллография».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 12 научных работ, из них опубликовано в рецензируемых научных изданиях – 5 работ.

Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК:

1. Korsakov, A. V., Zhimulev, E. I., **Mikhailenko, D. S.**, Demin, S. P., and Kozmenko, O. A. Graphite pseudomorphs after diamonds: An experimental study of graphite morphology and the role of H₂O in the graphitisation process. *Lithos*. 2015. V. 236, P. 16-26. (соискателем выполнены оптические исследования графитизированных алмазов и проведены КР-спектроскопические исследования кристаллов графита на поверхности алмазов)
2. **Михайленко Д.С.**, Корсаков А.В., Головин А.В., Зеленовский П.С., Похиленко Н.П. Первая находка включений графита в алмазе из мантийных пород: по данным изучения ксенолита эклогита из кимберлитовой трубки «Удачная» (Сибирский кратон). Доклады РАН. 2016. Т. 469. №6. С. 717-720. (соискателем выполнены минералого-петрографические исследования, расчет РТ-параметров и проведены КР-спектроскопические исследования включений графита в алмазе)
3. **Mikhailenko D.S.**, Korsakov A.V., Zelenovskiy P.S., Golovin A.V. Graphite-Diamond Relations in Mantle Rocks: Evidence from an Eclogitic Xenolith from the Udachnaya Kimberlite (Siberian Craton). *American Mineralogist*. 2016. V. 101. P. 2155-2167. (соискателем выполнены минералого-петрографические исследования, расчет РТ-параметров и проведены КР-спектроскопические исследования включений графита в алмазе.)
4. **Mihailenko, D.S.**, Korsakov, A.V., Rashchenko, S.V., Seryotkin, Y.V., Belakovskiy, D. and Golovin, A.V. Kuliginite, IMA 2016-049. *CNMNC Newsletter* No. 33, October 2016, page 1139; *Mineralogical Magazine*, 80, P. 1135–1144. (соискателем в процессе изучения ксенолитов был найден новый минерал группы герберсмита – кулигинит)

5. Radu I., Moine B., Ionov D., Korsakov A., Golovin A., **Mikhailenko D.**, Cottin J. Kyanite-bearing eclogite xenoliths from the Siberian craton, Russia //Bulletin de la Société géologique de France. 187:71- December 2016. (соискателем выполнены РТ- расчеты для ксенолитов кианитсодержащих эклогитов)

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов (все положительные, все содержат замечания) от: **1.** С.Ю. Скузоватова, к.г.-м.н., старший научный сотрудник (ФГБУ ИГ СО РАН, Иркутск); **2.** С.Г. Скублова, д.г.-м.н., главный научный сотрудник (ИГГД РАН, Санкт-Петербург); **3.** О.Б. Олейникова, к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник (ИГАБМ СО РАН, Якутск); **4.** А. Д. Павлушина, к.г.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории геологии и петрологии алмазоносных провинций (ИГАБМ СО РАН, Якутск); **5.** Никитиной Л.П., д.г.-м.н., профессора, главный научный сотрудник (ИГГД РАН, Санкт-Петербург); **6.** Авченко О.В., д.г.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории физико-химической петрологии (ФГБУ ДГИ ДВО РАН). В отзывах отмечено, что актуальность работы, а также достоверность полученных в ней результатов не вызывает сомнений. Автором получен большой объем данных о минералого-петрографических особенностях и физико-химических условиях образования графит- и алмазсодержащих ксенолитов, что является значительным вкладом в развитие представлений об эволюции углерода в пределах верхней мантии. Главными достижениями работы являются: определение сингенетичного образования первичных пороодообразующих минералов эклогитов и полиморфных модификаций углерода; оценка полученных независимых РТ- условий образования минеральных ассоциаций графит- и алмазсодержащих ксенолитов; обнаружение в графит- и алмазсодержащих эклогитах включений кристаллов графита в алмазе, являющихся первым свидетельством кристаллизации метастабильного графита в поле стабильности алмаза в породах верхней мантии. Основные выводы и выдвинутые защищаемые положения убедительно обоснованы и базируются на обширном фактическом материале. Полученные автором новые данные для графит- и алмазсодержащих ксенолитов из кимберлитовой трубки «Удачная» имеют важное значение для развития представлений о глубинном цикле углерода.

Основные замечания и предложения касаются недостаточно подробного обсуждения изотопно-геохимических характеристик графита и алмаза из ксенолитов эклогитов (Скузоватов С.Ю., к.г.-м.н., Павлушин А.Д., к.г.-м.н.); недостаточности фактического табличного материала в автореферате (Олейников О.Б., к.г.-м.н.); неточности в стиле формулировке (Авченко О.В. д.г.-м.н.). Помимо этого, Никитиной Л.П. отмечается необходимость уточнения в выборе геотермы при расчете Р-Т параметров и отсутствия каких либо «изотопно-геохронологических данных о кристаллизации алмаза и графита и времени полиморфного перехода графит→алмаз». Скузоватов С.Ю., в своем отзыве отмечает, что в автореферате отсутствует «систематическое описание алмазов из

ксенолитов» и недостаточно подробно приведена характеристика положения алмаза и графита относительно породообразующих минералов.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Гаранин В.К. и Бобров А.В. являются высококвалифицированными компетентными специалистами в области минералогии, петрологии и генезиса мантийных пород. Оппоненты имеют ряд публикаций в соответствующей диссертации сфере исследования и способны объективно оценить данную работу.

Выбор ведущей организации (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экспериментальной минералогии Российской академии наук (ИЭМ РАН)) обосновывается тем, что она проводит фундаментальные и прикладные исследования по основному научному направлению «Физико-химические исследования состава и структуры глубинных зон Земли с целью создания основ геодинамических и новых методов синтеза алмаза», хорошо известна своими достижениями в данной отрасли науки. Направление научно-исследовательской деятельности организации полностью соответствует тематике рассматриваемой диссертации, и высококвалифицированные специалисты этой организации, несомненно, способны объективно и аргументированно обосновать ее научную и практическую ценность.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований впервые для пород верхней мантии Якутской алмазоносной провинции показана возможность метастабильной кристаллизации графита в термодинамическом поле стабильности алмаза, а также установлено, что в породах верхней мантии кристаллы графита могут находиться в поле стабильности алмаза длительное время (~1 млрд. лет), не перекристаллизовываясь в алмаз.

Показано, что первичные породообразующие минералы содержат включения коэсита, граната, клинопироксена, кианита, рутила, графита и алмаза. **Предложена модель** совместного образования этих первичных породообразующих минералов совместно с графитом и алмазом в поле стабильности алмаза. **Приведены** новые данные о минералого-петрографических особенностях графит- и алмазосодержащих мантийных ксенолитов. **Выявлено,** что образование вторичных минеральных ассоциаций, развивающихся по первичному омфациту, кианиту, коэситу и титаниту, происходило в процессе транспортировки ксенолитов кимберлитовым расплавом на поверхность.

Доказано, что образование первичных породообразующих минералов и кристаллов графита- и алмаза происходило в поле стабильности алмаза при температуре 1000-1250 °С и давлении 4.7-7.2 ГПа. На поверхности кристалла алмаза, находящегося в межзерновом пространстве в непосредственной близости с кристаллом графита (на расстоянии менее 70 мкм), следы графитизации отсутствуют. Высокая степень агрегации азота в кристаллах алмаза (%V1 38-40), содержащих частично выходящие за их пределы включения

кристаллов графита, является свидетельством сохранения графита в поле стабильности алмаза длительное время ~1 млрд лет.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что доказаны следующие положения:

1. Формирование первичных парагенезисов высоконатровых (Grt-Cpx-Ky-Coe) и магнезиальножелезистых (Grt-Cpx-Coe) графит- и алмазодержащих эклогитов из трубки «Удачная» происходило при температуре 1000-1250 °С и давлении 4.7-7.2 ГПа, что соответствует полю стабильности алмаза. Транспортировка этих ксенолитов на поверхность кимберлитовым расплавом приводит к образованию вторичных минеральных ассоциаций (Pl-Kfs-CpxII) уже в области стабильности графита 2.3-1.2 ГПа и 990-660 °С.
2. Включения кристаллов графита и алмаза в гранате, клинопироксене, коэсите и кианите из высоконатровых (Grt-Cpx-Ky-Coe) и магнезиальножелезистых (Grt-Cpx-Coe) эклогитов трубки «Удачная» указывают на совместное образование полиморфных модификаций углерода и первичных породообразующих минералов в поле стабильности алмаза. В исследованных образцах эклогитов не установлено признаков кристаллизации графита при температуре и давлении, отвечающих его полю стабильности.
3. На поверхности кристалла алмаза, находящегося в межзерновом пространстве в непосредственной близости с кристаллом графита (на расстоянии менее 70 мкм), следы графитизации отсутствуют. Высокая степень агрегации азота в кристаллах алмаза (%N1 38-40), содержащих частично выходящие за их пределы включения кристаллов графита, является свидетельством сохранения графита в поле стабильности алмаза длительное время ~1 млрд лет.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов исследования вещества, включая минералого-петрографические, изотопно-геохимические и геотермобарометрические. Определения фазового состава пород и включений, а также химического состава минералов производились методами электронной сканирующей микроскопии, КР- и ИК-спектроскопии и конфокального КР-картирования. Изотопно-геохимические измерения проводились на SIMS IMS1270 и Finnigan MAT Delta.

Изложенные и обоснованные в виде защищаемых положений новые данные, представленные в диссертационной работе, и их интерпретация вносят существенный вклад в расширение представлений о глубинном цикле углерода. В частности, в работе получены новые данные о минералого-петрографических особенностях графит-алмазодержащих ксенолитах эклогитов из кимберлитовой трубки «Удачная». В ксенолитах эклогитов выявлены включения графита и алмаза в первичных

породообразующих минералах. Эти находки позволили реконструировать РТ-условия образования полиморфных модификаций углерода в породах верхней мантии. На этом основании выдвинута гипотеза о метастабильной кристаллизации графита в поле стабильности алмаза. Помимо этого впервые диагностированы включения графита в кристаллах алмаза из графит- и алмазсодержащего ксенолита эклогита.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные данные могут быть использованы при петрологических построениях и создании моделей процессов графито- и алмазообразования в породах верхней мантии. Приведенные в диссертационной работе результаты имеют важное значение для развития представлений о глубинном цикле углерода.

Оценки достоверности результатов исследования выявила:

Результаты получены на современном сертифицированном оборудовании для минералого-петрографических и геохимических исследований: оптических поляризационных микроскопах Olympus BX51; КР-спектрометре LabRam HR800 (Horiba Jobin Yvon); сканирующих электронных микроскопах JEOL JXM-6510LV и TESCAN MIRA 3 LMU JSM 6510LV; рентгеноспектральном микроанализаторе (Jeol JXA-8100) в аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск); КР-спектрометре WITec alpha300AR (УЦКП «Современные нанотехнологии» УрФУ, Екатеринбург); изотопные измерения проводились на ионном зонде SIMS IMS1270 (CRPG-CNRS-Universite de Lorraine, Франция) и Finnigan MAT Delta (ИГМ СО РАН); Bruker Vertex 70 FTIR спектрометр с HYPERION 2000 IR. Полученные на разных приборах результаты хорошо согласуются друг с другом.

Теория построена на основе результатов комплексного минералого-петрографического и геохимического изучения представительной коллекции мантийных ксенолитов из кимберлитовой трубки «Удачная» (более 3000 анализов на сканирующем электронном микроскопе и рентгеноспектральном микроанализаторе, 300 изображений в обратнорассеянных электронах, 100 индивидуальных КР-спектров и 10 КР-карт). **Идеи диссертации базируются** на общепринятых моделях и концепциях строения верхней мантии, эволюции углерода в литосфере, а также современных экспериментальных данных. Результаты не противоречат ранее опубликованным экспериментальным данным по этой теме, являются научно обоснованными и аргументированными.

Установлена согласованность результатов диссертационной работы с данными литературных источников по указанной тематике, отражающими условия образования полиморфных модификаций углерода и эволюцию мантийных пород [Wagner, 1909; Бобриевич, 1959; Соболев и др., 1970, 1972; Соболев, 1974; Соболев и др., 1976; Hatton, 1978; Robinson, 1979; Похиленко и др., 1982; Meyer, 1987; Pearson et al., 1994; Sobolev et

al., 1994; Соболев и др., 1998; Spetsius 2004; Taylor, Anand2004; Spetsius et al., 2009], а также же экспериментальные данными [Литвин и др., 1997; Pal'yanov et al., 1999b; Akaishi and Yamaoka, 2000; Akaishi et al., 2000; Yamaoka et al., 2000; Sokol et al., 2001b; Pal'yanov et al., 2002a; Yamaoka et al., 2002a; Davydov et al., 2004; Pal'yanov et al., 2006; Pal'yanov and Sokol, 2009; Palyanov et al., 2011; Pal'yanov et al., 2002a; Сокол и др., 2004; Khokhryakov et al., 2009; Sokol et al., 2009; Литвин, 2009; Нечаев, Хохряков, 2013; Korsakov et al., 2015].

В ходе работы были использованы современные методики пробоподготовки. Подготовлены и детально изучены 150 плоскополированных пластинок. Выполнено 3000 микрондовых анализов на сканирующем электронном микроскопе породообразующих и аксессуарных минералов, рассчитаны Р-Т параметры образования ксенолитов. Получено 300 изображений в обратно-рассеяных электронах. Методом КР-спектроскопии получено и расшифровано 100 индивидуальных КР-спектров породообразующих минералов и минералов-включений. Получено 10 КР-карт твердофазных включений минералов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном отборе образцов с 2012 по 2015 гг. и проведении пробоподготовки полевого материала для лабораторных исследований. Автором проведено комплексное минералого-петрографическое исследование уникальных мантийных ксенолитов, содержащих графит и алмаз, а также выполнена обработка полученных аналитических данных, оценены РТ-условия образования первичных и вторичных минеральных ассоциаций в этих мантийных ксенолитах из кимберлитовой трубки «Удачная» (Якутия). Основу диссертации составляют исследования, проведенные в период с 2013 по 2016 гг. Совместно с соавторами опубликованных работ проведена интерпретация полученных данных, написаны тексты статей и материалов тезисов. Соискатель принимал личное участие в апробации результатов исследований.

На заседании 28 февраля 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Михайленко Денису Сергеевичу ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 25.00.05, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета

Н.В. Соболев

Ученый секретарь диссертационного совета

О.Л. Гаськова

03 марта 2017 г.

