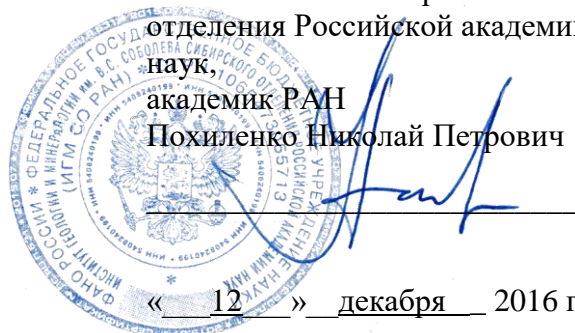


УТВЕРЖДАЮ:

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



« 12 » декабря 2016 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «**Минералогия графит- и алмазсодержащих ксенолитов из кимберлитовой трубки «Удачная»**» 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 **Михайленко Денис Сергеевич** работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН) в лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений (№ 451) в должности инженера, с 2016 г. – в должности младшего научного сотрудника.

В 2013 г. окончил факультет биологии, географии и химии Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева») по специальности учитель географии.

В 2016 г. Д.С. Михайленко окончил очную аспирантуру при ИГМ СО РАН по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография» с представлением.

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук Корсаков Андрей Викторович, заведующий лабораторией 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.

#### **По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

**Цель** диссертационной работы Д.С. Михайленко – исследование графита и алмаза в графит-алмазсодержащих породах и реконструкция условий их образования на основе изучения мантийных ксенолитов из кимберлитовой трубки «Удачная».

**Объектом исследования** являются коллекция мантийные ксенолиты из кимберлитовой трубки Удачная (Якутия), содержащие алмаз и/или графит. Коллекция состоит из 30 образцов,

которые содержат следующие типы парагенезиса: эклогитовый (26 образцов), пироксенитовый (3 образца) и перидотитовый (1 образец).

#### **Актуальность исследований.**

Проблема происхождения графита и алмаза в мантийных породах важна для понимания круговорота углерода в литосфере. В современных работах преобладает точка зрения, что алмазы образовались при P-T-параметрах верхней мантии в умеренно окисленных средах (Соболев, 1974; Haggerty, 1986; Meyer, 1987; Harris, 1992; Schrauder, Navon, 1994; Haggerty, 1999; Navon, 1999; Luth, 1999). Тем не менее, последние экспериментальные работы показали, что при синтезе алмаза в металлических и неметаллических системах графит может кристаллизоваться как совместно с алмазом, так и без него (Литвин и др., 1997; Palyanov et al., 1999a; Akaishi, Yamaoka, 2000; Akaishi et al., 2000; Yamaoka et al., 2000; Sokol et al., 2001; Palyanov et al., 2002; Yamaoka et al., 2002; Davydov et al., 2004; Palyanov et al., 2006; Palyanov, Sokol, 2009).

Линия равновесия графит-алмаз является надежным геобарометром и разделяет верхнюю мантию на две субфации – графит-пироповую и алмаз-пироповую (Добрецов и др., 1974). Наиболее редкими и, как следствие, наименее изученными являются ксенолиты, содержащие обе полиморфные модификации углерода (Wagner, 1909; Hatton, 1978; Robinson, 1979; Бобриевич и др., 1959; Соболев, 1974; Похиленко и др., 1982). Предполагается, что образование графита в этих породах происходило вблизи линии равновесия графит-алмаз (Похиленко и др., 1982). Изучение условий образования алмаз- и графитсодержащих ксенолитов дает возможность получить информацию об условиях их происхождения и эволюции полиморфных модификаций углерода в пределах верхней мантии. В то же время, многочисленные исследования мантийных ксенолитов выявили повсеместное нахождение графита во всех мантийных парагенезисах (Бобриевич, 1959; Бобриевич и др., 1960; Соболев, 1974; Похиленко и др., 1976; Похиленко и др., 1982; Pearson et al., 1994).

#### **Наиболее важные научные результаты, полученные соискателем:**

В ходе комплексного исследования минералогии графит- и алмазсодержащих ксенолитов в сочетании с детальным изучением морфологии, дефектно-примесного и изотопного состава алмаза и графита установлены основные закономерности минералообразования. Исходя из минералогических особенностей нахождения полиморфных модификаций углерода и полученных P-T оценок, впервые **установлена** метастабильная кристаллизация графита в области стабильности алмаза на примере мантийных ксенолитов из кимберлитов. В работе **выявлено**, что согласно особенностям графит- и алмазсодержащих ксенолитов образование алмаза, графита и первичных пороодообразующих минералов происходило сингенетично. Кристаллы графита не имеют признаков растворения, что характерно как для включений графита в пороодообразующих минералах, так и для графита рядом с кристаллом алмаза. Высокая степень агрегации азота в кристаллах алмаза и высокоупорядоченная кристаллическая структура включений графита свидетельствует о том, что графит может сохраняться в верхней мантии продолжительное время (~1 млрд. лет) без перехода в алмаз. В диссертации впервые изучены эпигенетичные включения графита вокруг минеральных включений в алмазе, свидетельствующие о высокотемпературном отжиге в поле стабильности графита при 1000 °C и 1.8 ГПа. Полученные изотопные данные углерода для кристаллов графита из графит- и алмазсодержащих ксенолитов имеют мантийные показатели, что является свидетельством общности источника углерода и P-T условий образования графита-алмаза. **Установлено**, что изотопные характеристики углерода для кристаллов алмаза из графит- алмазсодержащих ксенолитов демонстрируют широкие вариации от -4.04 до -16.14 ‰, указывающие как на мантийный, так и коровый источник углерода.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.**

Основу диссертации составляют исследования, проведенные автором в период с 2013 по 2016 гг. Личный вклад автора состоит в непосредственном участии в экспедиционных работах, отборе образцов (2012-2015 гг.), их подготовке к аналитическим исследованиям, минералогическим и петрографическим исследованиям с помощью методов оптической, электронной сканирующей

микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, спектроскопии комбинационного рассеяния света, а также в интерпретации данных, написании текстов статей и тезисов конференций совместно с соавторами.

**Высокая степень достоверности и обоснованности результатов проведенных исследований.**

Результаты диссертационной работы Д.С. Михайленко, ее научные положения и выводы являются достоверными и обоснованными. Достоверность представленных результатов основывается на высоком методическом уровне проведения работы и представительности исходных данных, а также набором методов исследования, оптимального для решения поставленных задач.

В диссертационной работе была изучена коллекция мантийных ксенолитов из кимберлитовой трубки «Удачная». Методом КР-спектроскопии получено и расшифровано более 70 спектров пороодообразующих минералов и минералов включений; построено 2 КР-карты включений графита в алмазе. Химический состав минералов (более 1500 анализов) в образцах получен рентгеноспектральным методом на базе оборудования Аналитического Центра ИГМ СО РАН. Методом ИК-спектроскопии определено общее количество и форма нахождения азота в 24 кристаллах алмаза. Изотопные исследования графита и алмаза проводилось на ионном зонде SIMS IMS1270 (CRPG-CNRS-Universite de Lorraine, Франция) и на масспектрометре Finnigan MAT Delta (Аналитический центр ИГМ СО РАН, Новосибирск).

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

#### **Научная новизна.**

В диссертации впервые проведено комплексное систематическое исследование минералогии и петрографии алмаз-графитсодержащих ксенолитов в сочетании с детальным изучением морфологии, дефектно-примесного и изотопного состава алмаза и графита. Минералогическо-петрографические особенности алмаз-графитсодержащих ксенолитов указывают на сингенетичное образование алмаза, графита и основных пороодообразующих минералов. Впервые получены независимые оценки температуры (1000-1250 °С) и давления (4.7-7.2 ГПа) для алмаз-графитсодержащих ксенолитов эклогитов по гранат-клинопироксен-кианит-коэзитовому геотермометру и показано, что кристаллизация графита происходила в поле стабильности алмаза. Новым в работе является нахождение в алмаз-графитсодержащих эклогитах включений кристаллов графита в алмазе – это первое свидетельство кристаллизации метастабильного графита в поле стабильности алмаза в породах верхней мантии. Установленная степень агрегации азота в алмазах и предполагаемый древний возраст кристаллов алмаза с графитом указывает на то, что графит может сохраняться в условиях верхней мантии в области устойчивости алмаза длительное время (~1 млрд. лет). Впервые показано, что изотопный состав графита и алмаза в алмаз-графитсодержащих ксенолитах из кимберлитовой трубки Удачная имеет мантийный источник и является свидетельством общности источника углерода и P-T условий для их образования.

#### **Практическая значимость и ценность научной работы соискателя:**

Результаты данного диссертационного исследования могут быть использованы при петрологических построениях и для создания моделей процессов графито- и алмазообразования в породах верхней мантии. Приведенные в диссертационной работе результаты имеют важное значение для развития представлений о глубинном цикле углерода.

#### **Соответствие диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите.**

Диссертация Д.С. Михайленко представляет собой научно-квалификационную работу, посвященную детальному исследованию минералогии графит-алмазсодержащих мантийных ксенолитов из кимберлитовой трубки «Удачная» и реконструкции условий образования графита и алмаза в них. Область исследования полностью соответствует пункту 2 (минералогия Земной коры и мантии Земли, ее поверхности и дна океанов) паспорта специальности 25.00.05 (минералогия, кристаллография).

#### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.**

Основные научные результаты и материалы диссертационного исследования достаточно полно изложены в научных публикациях соискателя (с соавторами). Д.С. Михайленко имеет **4 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций**, и 9 работ в материалах всероссийских и международных конференций.

**Основные публикации соискателя, в которых представлены материалы диссертации:**

*Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК:*

1. Korsakov, A. V., Zhimulev, E. I., **Mikhailenko, D. S.**, Demin, S. P., Kozmenko, O. A. (2015). Graphite pseudomorphs after diamonds: An experimental study of graphite morphology and the role of H<sub>2</sub>O in the graphitisation process. *Lithos*. V. 236, P. 16-26.
2. **Михайленко Д.С.**, Корсаков А.В., Головин А.В., Зеленовский П.С., Похиленко Н.П. (2016). 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
3. **Mikhailenko D.S.**, Korsakov A.V., Zelenovskiy P.S., Golovin A.V. (2016). 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.
4. **Mihailenko, D.S.**, Korsakov, A.V., Rashchenko, S.V., Seryotkin, Y.V., Belakovskiy, D. and Golovin, A.V. (2016) Kuliginite, IMA 2016-049. *CNMNC Newsletter No. 33*, October 2016, page 1139; *Mineralogical Magazine*, V. 80. P. 1135–1144.
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*. *In press*.

Диссертация «**Минералогия графит- и алмазсодержащих ксенолитов из кимберлитовой трубки «Удачная»**» Михайленко Дениса Сергеевича 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 (№ 451) ИГМ СО РАН. Присутствовало на заседании – 24 человека (из них 11 докторов геол.-мин. наук, 8 кандидатов геол.-мин. наук), а также 2 м.н.с и аспиранта и 3 инженера. Результаты открытого голосования по вопросу принятия заключения по диссертации Д.С. Михайленко: «за» – 24 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 2016/12-1 от 9 декабря 2016 г.

Заключение оформил:

*Корсаков Андрей Викторович,  
доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий лабораторией минералов высоких давлений и алмазных месторождений (№ 451)  
ИГМ СО РАН*