

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ
АЛМАЗА И БЛАГОРОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК
(ИГАБМ СО РАН)

Просп. Ленина, д. 39, Якутск, 677980
Факс (4112) 33-57-08
Телефон (4112) 33-58-64
E-mail: igabm@bk.ru
http://www.diamond.ysn.ru

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки (ФГБУН)
Института геологии алмаза и
благородных металлов СО РАН
(ИГАБМ), д.г.-м.н., профессор
В.Ю. Фридовский

«21 » января 2021 г.

21.01.2021 № 304-01-17-06-13/057

На № _____ от _____

ОТЗЫВ



официальной ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (ИГАБМ) на диссертационную работу **Бардухинова Леонида Данииловича** "Особенности алмазов и состав включений в них как поисковые признаки на примере Накынского и Алакит-Мархинского кимберлитовых полей", представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 - геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Несмотря на огромное количество работ по изучению алмазов, в области исследования генезиса этого минерала остается еще много дискуссионных вопросов. Аналитические данные инструментального изучения алмазов в совокупности с характеристиками их включений являются объективным и важнейшим источником информации для расшифровки условий и мантийного уровня образования алмазов. Диссертационная работа Л.Д. Бардухинова посвящена решению **актуальной и весьма интересной научной задачи** - изучению типоморфных особенностей алмазов и включений в них из кимберлитовых трубок Накынского и Алакит-Мархинского кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции и выяснению особенностей взаимосвязи алмаз - включение для использования в прогнозно-поисковых работах. **Практическая значимость диссертационной работы** заключается в острой необходимости поисков новых алмазоносных месторождений на территории Якутской алмазоносной провинции. Соискателем на основе изучения обширного материала установлено, что набор структурных дефектов и включений в алмазах специфичны для каждого поля; кимберлитовые трубки Накынского поля характеризуются повышенной долей алмазов с включениями эклогитовой ассоциации. Л.Д. Бардухиновым впервые

создана электронная база данных по идентифицированным включениям в алмазах из более 20 кимберлитовых тел Накынского и Алакит-Мархинского полей. Детальное исследование включений коэсита в алмазах позволили автору определить, что октаэдрические кристаллы формировались в мантии при более высоком давлении, чем ромбододекаэдрические. Автором диссертации разработана методика определения парагенетической принадлежности алмазов по включениям гранатов в них с помощью неразрушающего метода – Рамановской спектроскопии, что позволяет реконструировать состав мантийной среды. Диссертационная работа Л.Д. Бардухинова - это новые данные по изучению взаимосвязи алмаз-включение и внутреннего строения алмазов Накынского и Алакит-Мархинского кимберлитовых полей, которые вносят существенный вклад в понимании закономерностей роста алмазов в условиях литосферной мантии различных сегментов Якутской алмазоносной провинции.

Обоснованность защищаемых положений, в целом, не вызывает сомнений. Защищаемые положения в основе своей базируются на обширном фактическом материале, полученным диссертантом лично в ходе лабораторных исследований с привлечением современных методов исследования состава и свойств минералов. В основу диссертации положены результаты изучения соискателем более 15000 алмазов из кимберлитовых трубок Накынского (Нюрбинская, Ботуобинская) и Алакит-Мархинского полей (Юбилейная, Комсомольская, Айхал, 30 лет Айхалу, Бобкова, Восток, Заря, Чукукская, Молодость, Радиоволновая, Радиогеодезическая, Сытыканская, Соболева, Озерная, Краснопресненская, Одинцова) в период с 2007 по 2018 гг.

Работа соискателя единственная, где создана электронная база данных по включениям в алмазах из представительной коллекции кимберлитовых трубок Якутии. Разработанная автором новая методика определения химического состава включений в алмазах in-situ методом Рамановской спектроскопии позволила повысить экономическую эффективность лабораторных исследований НИГП "АЛРОСА".

Апробация работы выполнена на достаточном объеме публикаций, в которых были рассмотрены основные положения диссертации. Результаты работы изложены в 7 статьях из журналов перечня ВАК, в четырех из них Л.Д. Бардухинов является первым автором. Главные идеи работы докладывались лично автором на форумах различного уровня от рабочих совещаний до конференций Всероссийского и Международного масштаба, отражены в материалах конференций и тезисах, индексируемых в РИНЦ.

Содержание диссертационной работы соответствует теме исследования. Рукопись диссертации состоит из введения, 4 глав и заключения, списка литературы из

125 наименований, сопровождается 63 рисунками и 7 таблицами. Общий объем работы составляет 146 страниц.

В разделе *введение* даны обобщенные сведения о работе, определены цели и задачи, обоснована ее актуальность, практическая значимость и научная новизна. Содержание раздела изложено полно и не вызывает нареканий.

В *главе 1* приведена краткая геологическая характеристика исследуемых районов, изложены литературные данные раскрывающие значимость изучения дефектно-примесного состава, особенностей морфологии кристаллов алмаза и состава включений в понимании генезиса и в полной мере отражают современное состояние проблемы. Соискателем в данной главе также рассмотрены работы по изучению химического состава и особенностей КР спектров индикаторного минерала алмаза - граната, как основа разработанной автором методики определения парагенетической принадлежности включений гранатов в алмазах с помощью Рамановской спектроскопии.

В *главе 2* описаны основные методы и приборы, использованные для исследования алмазов.

В разделе главы 2.1 посвященной методу минералогического описания особенностей алмазов декларируется перечень морфологических и физиографических признаков. Как основу их характеристики автор использовал систему минералогического описания алмазов принятую в НИГП АК«АЛРОСА». Из анализа содержания диссертации в части характеристики морфологии алмазов следует, что дополнительные «кодировки символов морфологического описания» обозначенные в таблице 2.1 комбинациями римских цифр и латинских букв практически не используются в самой диссертации. Из перечисленных в таблице 65 «морфотипов» алмаза автор оперирует с 1 по 59 в содержании главы 3. В остальных разделах диссертации приведенная классификация алмазов не используется, а изучение включений минералов выполнены без привязки к обозначенным в методике описания морфотипам. Далее в главе 4 в приведенной на рис. 4.2. статистической характеристике разновидностей и габитуса алмазов в кимберлитовых телах Накынского и Алакит-Мархинского полей автор диссертации оперирует более ограниченным кругом морфотипов алмаза состоящим из перечня шести типов алмазов без привязки к минералогическим разновидностям, что также идет в разрез обозначенной системой описания.

Далее в разделах 2.2.-2.4 весьма подробно описаны прецизионные методы исследования алмазов с помощью ИК-Фурье, КР спектроскопии, фотолюминесценции. Соискатель использовал впечатляющий перечень современных приборов обеспечивших высокую точность результатов примененного комплекса методов исследования.

Особенности морфологии кристаллов алмаза описаны с помощью микроскопа «Leica» Wild M420. Для возбуждения фотолюминесценции алмазов использован лазер АИЛ - 3 (X - 337 нм.). Фотографирование кристаллов выполнено с использованием бинокулярного микроскопа «Leica» M205 с высокочувствительной цифровой видеокамерой «Leica» DFC 495. Спектры комбинационного рассеяния включений в алмазах получены на рамановском микроскопе InVia Renishaw. ИК-спектроскопические исследования алмазов проводились на ИК-Фурье спектрометре «Bruker» VERTEX 70 в комплексе с ИК-микроскопом Hyperion 2000. Состав граната изучен с помощью рентгеновского микроанализатора «Jeol» JXA-8800R.

В разделе 2.4. продемонстрированы расчеты экономического эффекта применения Рамановского микроскопа как неразрушающего метода идентификации минеральных включений, что позволило сохранить качество, ювелирную и геологическую ценность кристаллов алмаза. Оценка экономического эффекта от внедрения микроскопа-спектрометра Invia (Renishaw) в НИГП АЛРОСА является дополнительным материалом для раскрытия темы диссертации.

В главе 3 изложены результаты исследования алмазов из трубок Накынского и Алакит-Мархинского кимберлитовых полей по данным ИК спектроскопии. Автором на основании детального анализа представительной коллекции алмазов отмечены существенные отличия в содержания азота и его агрегации. Алмазы Накынского поля (тр. Нюрбинская, Ботуобинская) характеризуются средним содержанием примеси азота от 400 до 800 at.ppm и низкой агрегацией азота (20-30%), когда как в трубках Алакит-Мархинского поля часто встречаются алмазы с пониженным содержанием примеси азота (около 100 at.ppm) и высока доля "безазотных" кристаллов.

В данной главе соискатель также рассматривает перспективы обнаружения крупных алмазов в кимберлитовых трубках Якутии на примере анализа алмазоносности и изучения дефектно-примесного состава алмазов из трубок Нюрбинская, Интернациональная, Мир, Удачная, Юбилейная, Зарница и Комсомольская. Полученные результаты позволяют автору полагать, что условия формирования крупных алмазов для высокопродуктивных кимберлитовых тел очевидно наличие единой генерации образования алмазов различных классов крупности, а для низкоалмазных месторождений отмечает наличие как минимум двух этапов алмазообразования с различными условиями, что является важным практическим выводом диссертации.

В главе 4 проведен сравнительный статистический анализ твердых включений в алмазах Накынского и Алакит-Мархинского кимберлитовых полей.

Некоторые нарекания вызывает приведенная статистическая характеристика разновидностей и габитуса алмазов в кимберлитовых телах изученных полей. Указанный на рис. 4.2. морфологический тип кристаллов алмаза обозначенный «ПФ» (по-видимому, автор имеет ввиду переходную форму «октаэдр-додекаэдр») как следует из таблицы 2.1. кодировки символов морфологического описания алмазов в главе 2 «Методика..» указан в нескольких категориях разновидностей алмаза по Ю.Л. Орлову: IV; V; VIII; IX. Из текста также неясно, о какой категории в статистической выборке идет речь. Категории «октаэдры», «ламинар РД», «округлые РД» приведенные на рис. 4.2. также объединяют каждый несколько морфологических типов алмазов приведенных в таблице 2.1. Категории «4рв» «8рв» «9рв» судя по приведенному описанию, тоже являются «октаэдрами».

Приведенные на рис. 4.2. круговых диаграммах процентного содержания морфологических разновидностей алмазов категории алмазов «без типа» и «прочие» было бы логичным расшифровать, что они подразумевают и объединить в одну категорию или не приводить в статистической. Кроме того на рис. 4.2. не приводятся численные значения процентов содержания морфологических типов алмазов, информация об этом отсутствует и в других материалах диссертации. Перечисленные замечания качественно ослабляют позицию второго защищаемого положения в части сравнения морфологии кристаллов алмаза из трубок Алакит-Мархинского и Накынского кимберлитовых полей.

Согласно полученным данным Накынное поле отличается пониженным содержанием твердых включений (низкая частота встречаемости оливина), повышенной долей алмазов с включениями эклогитовой ассоциации и более высоким содержанием алмазов со средней концентрацией примеси азота. Автор особое внимание уделил изучению включений коэсита как геобарометра. Из текста следует, что всего изучено пять включений коэсита в алмазах из кимберлитовых трубок Заполярная, Майская, Комсомольская-Магнитная, россыпей рр. Куойка и Большая Куонамка. По расчетным данным соискателем установлено, что в россыпных алмазах вокруг включения коэсита сохранилось наиболее высокое остаточное давление. Л.Д. Бардухинов в своей работе рассматривает полученные значения давления относительно формы кристалла алмаза и показывает, что кристалл переходной формы имеет на порядок выше величину остаточного давления чем кристалл ромбододекаэдрического габитуса. Автором сделан вывод, что форма кристалла алмаза с включением коэсита зависит от остаточного давления в нем. При этом полагает, что октаэдрические кристаллы формировались в мантии при более высоком давлении, чем алмазы ромбододекаэдрического габитуса. К сожалению, не указано нахождение включений коэсита в объеме кристалла алмаза. Внешняя форма алмаза зависит от процессов протекавших в среде во время

заклучительного этапа, а большинство ранее описанных многими исследователями включений коэсита (Соболев, 1976, 2006; Мальков, 2004; Kagi et. all, 2009) расположены в центральной зоне роста алмаза. Последнее означает, что включение захвачено алмазом в самом начале кристаллизации, когда алмаз, вероятно имел другую форму кристалла.

Во втором защищаемом положении, обоснованном в главе 2 провозглашается о полученных свидетельствах различия мантийного субстрата под Алакит-Мархинским и Накынским кимберлитовыми полями. Утверждение основано на выявленных особенностях морфологии, физических свойств и включений в изученных кристаллах алмаза из кимберлитовых трубок перечисленных полей. Также озвучивается вывод о возрастании роли эклогитового субстрата как алмазообразующей среды с юга на север Якутской алмазоносной провинции. Однако, как антитезу последнему можно утверждать, что различия в составе включений эклогитового и перидотитового парагенезисов и морфологии алмазов могут быть обусловлены увеличением глубины заложения мантийных источников эксгумированных кимберлитами к северу алмазоносной провинции и очаг кимберлитобразования находился на уровне эклогитов, расположенных в разрезе литосферы гипсометрически ниже перидотитовых пород.

В главе 4 также описана предложенная автором методика определения минерального и химического состава гранатов с помощью Рамановской спектроскопии. Установлена положительная корреляция между химическим составом гранатов и положением комбинационных мод в КР спектре. На основании, впервые проведенного на столь представительной коллекции, анализа минерального состава включений граната в алмазах из трубок Юбилейная, Удачная, Комсомольская, Комсомольская-магнитная, Мир, Спутник, Заполярная, Майская, соискателем отмечено, что для кимберлитовых тел отмечается свое закономерное распределение на диаграмме соотношения минерального состава включений гранатов по Alm-Gross-Pyr, что свидетельствует о специфике условий образования алмазов из разных кимберлитовых тел. Полученные результаты по включениям граната в алмазах хорошо коррелируют с распределением азота в алмазе и подтверждают эффективность разработанной методики.

КР спектроскопия включений оливина показало, возможность их сингенетического и протогенетического формирования в алмазах. При этом повышенное остаточное давление наблюдается в алмазах с высоким содержанием примеси азота.

Заклучение содержит основные выводы автора, изложенные в главах диссертации.

Диссертация своим содержанием полностью обосновывает защищаемые положения. Все рассмотренные положения работы нашли отражение в публикациях

Л.Д. Бардухинова. Автореферат соответствует содержанию диссертации и защищаемым положениям.

В качестве замечаний к техническому выполнению диссертации затрудняющим восприятие изложенного в диссертации обширного материала необходимо высказать следующее:

Соискателем допущены ошибки при оформлении ссылок на использованную литературу:

- ссылки на литературу приводятся в основном в квадратных скобках, местами в круглых - стр. 19, 90.

- список литературы составлен в алфавитном порядке, но не соблюдены хронологический порядок и стиль оформления (стр. 132–136). Такие же замечания следуют и к оформлению зарубежной литературы.

Автором допущены некорректные переносы изображения рисунков и подписей к ним на несколько страниц, при этом не указаны начало и продолжение рисунка:

- рисунок 2.1 приведен на стр. 32, подпись к нему на стр. 33;

- рис. 2.5 - иллюстрация на стр. 41, продолжение на стр. 42. Не указаны буквенные обозначения рисунков.

- рисунок 3.1. - иллюстрация на стр. 49, продолжение и подпись к рисунку на стр. 50;

- рисунок 3.2 - начало на стр. 51, продолжение на стр. 52, подпись к рисунку на стр. 53.

- рисунок 3.4 - начало рисунка на стр. 54, продолжение и подпись - стр. 55;

- рисунок 3.5 разбит на две стр. 56-57, подпись - стр. 58;

Подобные ошибки допущены на графических изображениях рисунков 3.7., 3.8., 3.10., 3.11., 3.13., 3.14, 3.28, 4.1.

Допущены некорректные переносы таблиц 2.1., 2.2., 4.1. на несколько страниц.

Большинство указанных замечаний носит рекомендательный характер. Они, в целом, не снижают качество материалов и весьма важных научных и практических выводов диссертационных исследований. Автореферат соответствует содержанию работы и сохраняет ее структуру. При рассмотрении отдельно автореферата и диссертации оба документа воспринимаются хорошо.

В целом, несмотря на высказанные замечания, диссертация "Особенности алмазов и состав включений в них как поисковые признаки на примере Накынского и Алакит-Мархинского кимберлитовых полей" соответствует квалификационным требованиям Положения ВАК о присуждении ученой степени кандидата геолого-минералогических

наук. Ее автор Бардухинов Леонид Данилович заслуживает присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Старший научный сотрудник

лаборатории геологии и петрологии

алмазоносных провинций ИГАБМ СО РАН, к.г.-м.н.

e-mail: antonyone@yandex.ru



Павлушин Антон Дмитриевич

Старший научный сотрудник

лаборатории геологии и петрологии

алмазоносных провинций ИГАБМ СО РАН, к.г.-м.н.

e-mail: sargylana-ugapeva@yandex.ru



Угапьева Саргылана Семеновна

Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании Ученого Совета Института геологии алмаза и благородных металлов (протокол №2, от 19 января 2021 г.).

Ученый секретарь
ИГАБМ СО РАН



Королева Ольга Валерьевна

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук, пр. Ленина, 39, Якутск, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация, 677000, тел. +7(4112)33-57-08, E-mail: igabm@bk.ru, <http://www.diamond.ysn.ru>