

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного

бюджетного учреждения науки

Институт геохимии им. А.П. Виноградова

Сибирского отделения

Российской академии наук

д.г.-м.н. Перенелов А.Б.



« 4 » сентября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН) на диссертационную работу **Яковлева Игоря Викторовича «Особенности состава и строения литосферной мантии под Верхнемунским кимберлитовым полем по данным изучения перидотитовых ксенолитов и минералов спутников алмаза»**, представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Представленная диссертационная работа Яковлева Игоря Викторовича посвящена изучению мантийных ксенолитов и минералов из концентрата тяжелой фракции кимберлитовых трубок Верхнемунского поля. Диссертантом были изучены химические составы минералов-спутников алмаза из 13 кимберлитовых тел, проведена оценка Р-Т параметров кристаллизации минералов, реконструирована палеогеотерма и сделаны выводы о метасоматических процессах, повлиявших на литосферную мантию под Верхнемунским кимберлитовым полем.

Автором диссертации была выбрана актуальная и значимая тема исследования. Детальные исследования минералов-спутников алмаза позволяют получить новую информацию о составе и строении литосферной мантии, реконструировать палеогеотерму и установить процессы, повлиявшие на ее эволюцию и имеющие значение для генезиса и сохранности алмазов. В связи с этим особое значение приобретает алмазоносное Верхнемунское кимберлитовое поле. Данная диссертационная работа позволяет совершенствовать методы поиска новых алмазоносных месторождений.

Автором впервые был детально исследован химический состав минералов - спутников алмаза из семи новых кимберлитовых тел Верхнемунского поля. Приводятся новые оригинальные данные по химическому составу литосферной мантии и реконструкции палеогеотермы под данным кимберлитовым полем. Также показана гетерогенность составов минералов - спутников алмаза в пределах одного кимберлитового поля.

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и двух приложений, в которых представлены данные по химическому составу минералов. Диссертация содержит 93 рисунка, 10 таблиц, список литературы со 112 наименованиями. Общий объем составляет 203 страницы. Автор выдвигает и последовательно аргументирует в соответствующих разделах и главах три защищаемых

положения.

В Введении диссертации затронуты вопросы актуальности проведенных исследований, очерчены цели и научные задачи, обоснована актуальность темы работы, и научная новизна проведенного исследования, раскрыты его теоретическая и практическая значимость и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние проблемы изучения состава, строения и эволюции литосферной мантии (по литературным данным)» приводится обзор зарубежной и отечественной литературы о породах литосферной мантии, их генезисе. Автор приводит обширную подробную информацию об истории изучения литосферной мантии, структуре и связи с алмазонасностью. Особое внимание автором уделено обзору литературы по метасоматическим процессам, значению химического состава минералов для изучения литосферной мантии. К данной главе принципиальных замечаний нет, однако следовало бы либо расширить подраздел 1.4 «Химический состав минералов глубинных ксенолитов как ключ к пониманию литосферной мантии», либо перенести информацию о применяемых геотермобарометрах в соответствующий раздел главы 7. Особенно недостаточна приведенная информация, касающаяся предыдущих исследований граната и клинопироксена и о том, как именно метасоматические преобразования влияют на химический состав граната.

Глава 2 «Геологическая характеристика Верхнемунского кимберлитового поля» содержит разделы «Литературный обзор...» и «Геологическая характеристика Верхнемунского кимберлитового поля». В перечисленном литературном списке работ по возрастам отсутствуют ссылки на две самые представительные по числу определений (более 100) U-Pb методом по цирконам и перовскитам (статьи Sun et al., 2014, 2018). По трубке 325 лет Якутии приведен ошибочный возраст в 410 млн. лет (Дэвис и др., 1980), хотя имеются несколько определений, дающие возраст, типичный для Верхнемунского поля, укладывающийся в интервал 345-355 млн лет (Griffin et al., 1999; Sun et al., 2014; Левченков и др., 2005; Лохов и др., 2010).

Глава 3 в диссертации пропущена, хотя в автореферате она имеется и называется «Глава 3. Материалы и методы исследования». В тексте диссертации данная глава приведена как Глава 5.

Глава 4 названа «Геологическая характеристика исследованных кимберлитовых рубок-месторождений Верхнемунского кимберлитового поля», и по существу, мало чем отличается по названию от главы 2. Хотя по содержанию эти главы существенно различны и в принципе отвечают их названиям, эти две главы возможно было бы объединить в одну. В данной главе приводится исчерпывающая характеристика кимберлитовых месторождений.

В главе 5 «Материалы, пробоподготовка и методы исследования» дана информация об объеме выполненных аналитических определений состава минералов из 170 перидотитовых ксенолитов. Поражает их колоссальное количество: только из трубки Комсомольская-Магнитная - 850 зерен оливина, 158 зерен граната и 95 зерен клинопироксена; из трубки Деймос - 1690 зерен граната, 1311 зерен оливина, 2087 зерен хромшпинелидов и 351 зерно ильменита. Всего – более 5 тысяч определений! Диссертантом детально описаны пробоподготовки, как ксенолитов, так и шлиховых проб, методика изготовления шашек, методы аналитического изучения состава минералов. К описанию используемых аналитических методов замечаний нет. Однако в диссертации полностью

отсутствует петрографическое описание исследуемых ксенолитов - хотя указано их большое количество - 171 ксенолит из трубки Комсомольская-Магнитная и 34 ксенолита из трубки Деймос. В описании методик термобарометрии указаны только мономинеральные методы, хотя, судя по описанию ксенолитов, у диссертанта была возможность использовать и другие, основанные на распределении элементов между двумя минералами (например, термометр Al в оливине (Bussweiler et al., 2017) - барометр Ca в оливине (Finnerty&Ridgen, 1981); гранат-оливиновый термометр (O'Neill&Wood, 1979) - энстатитовый барометр (McGregor, 1984) и другие). Судя по дальнейшему тексту, диссертант не изучал взаимоотношения минералов в ксенолитах и вопросы их равновесия, что является огромным упущением. Сравнение таких результатов с данными, полученными диссертантом с помощью мономинеральных термобарометров, привело бы к интересным и более точным выводам.

Глава 6 «Результаты исследований» - самый объемный (около 90 страниц) и самый представительный раздел диссертации. Глава имеет однотипную структуру. Хотя источников (кимберлитовых тел и разных минералов) много, глава имеет 11 подразделов, но в каждом подразделе при описании особенностей распределения состава того или иного минерала используются одни и те же графики. Учитывая неоднородность составов минералов, диссертант выделяет для них группы: для оливинов по значениям $mg\#$, для гранатов по разным спектрам распределения REE. Показалось несколько непонятным использование трех графиков (Рис. 13) с разными координатами для клинопироксенов, в которых выделены разные поля, характерные для - внутрикратонных гранатовых перидотитов, эклогитов и мегакристовой ассоциации; эклогитов и неясного происхождения, просто из перидотитов, из эклогитов, из гранатовых клинопироксенитов и вебстеритов, из перидотитов, шпинелевых пироксенитов и гранатовых ортопироксенитов, для высоконатриевых клинопироксенов из перидотитов. Заметим, что поле для эклогитов на 3-м графике ($Cr_2O_3 < 0,2 \%$) не согласуется с полем для эклогитов на 1-м графике ($Cr_2O_3 < 0,5 \%$). Обсуждение этих графиков практически отсутствует. Отсутствует и ссылка на авторов этих графиков, на основании каких данных выделены эти поля.

Общее замечание касается выделения групп пород на графиках. Как правило, название породы дается на основании петрографического описания и анализа соотношения породообразующих минералов. Диссертант делает выводы, основываясь не только на данных по химическому составу граната и полям составов, выделенных в предыдущих работах. Однако данный подход чреват допущением ошибок. Например, на графике Рис. 43 почти половина зерен граната попадает в поле деформированных лерцолитов, наличие которых в литосферной мантии под Верхнемунским кимберлитовым полем очень дискуссионно, в приведенном диссертантом перечислении ксенолитов такие породы отсутствуют. Диссертант никак не объясняет этот факт. Кроме того, диссертант использует разные классификации химического состава гранатов (Соболев, 1973; Grütter, 2004; Griffin et al., 1995; также Schulze, 2003; Ramsay, 1993). Однако эти классификации основаны на различных генетических признаках и поля составов групп мантийных пород в них не совпадают, что вносит существенную путаницу в обсуждение. Можно посоветовать автору придерживаться единой классификации и единого типа графиков химического состава граната.

Глава 7 посвящена обсуждению результатов изучения химического состава оливинов из перидотитовых ксенолитов и шлиховых проб. К ней имеется следующее замечание:

диссертант считает, что «Оливины из низкомагнезиальной группы (группа 1) вероятнее всего относятся к высокотемпературным катаклазированным (деформированным) перидотитам». Между тем, источником оливинов с относительно высоким содержанием FeO могут быть как мегакристы низко-St ассоциации, так и минералы, непосредственно кристаллизовавшиеся из высоко-Ti первичного кимберлитового расплава. Высокое содержание NiO в оливинах из деформированных ксенолитов (0.35-0.40 %), относительно высокое содержание Fo минала для оливинов (от 90 до 92 %) (Рис. 78 из диссертации) не согласуется с утверждением о принадлежности данных оливинов к деформированным перидотитам. Чтобы сделать вывод о их принадлежности к деформированным ксенолитам, необходимо петрографическое описание самих ксенолитов, которое в диссертации, к сожалению, отсутствует.

Детальное рассмотрение спектров распределения REE в гранатах из Верхнемунского поля, выделение двух разных типов – 1) с позитивной корреляцией от легких до тяжелых, характерной для лерцолитов и 2) синусоидальной формы, характерной для дунит-гарцбургитов является типичным для гранатов подобных парагенезисов. Заметим, что на соответствующих графиках (Рис. 86) несколько кривых для гарцбургитов демонстрирует 1-й тип, а для лерцолитов, напротив, характерный для гарцбургитов.

Имеются вопросы к выделенному автором «У края» для «алмазного окна». Диссертант пишет: «рассчитаны глубины основания деплетированной литосферы (“У край”), глубже которой отсутствуют низкокальциевые гарцбургитовые гранаты с относительно деплетированными составами и начинают резко преобладать лерцолитовые гранаты, обогащенные MREE, HREE, Ti». А разве на наиболее распространенные гарцбургитовые гранаты алмазоносного парагенезиса данный вывод не распространяется? На Рис. 90 по (Grütter, 2004) лерцолитовые перидотиты занимают, в основном, интервал 155-190 км, т.е., в пределах «алмазного окна», а не ниже, как предполагает диссертант.

Стр. 134. Оливины из низкомагнезиальной группы (группа 1), вероятнее всего, относятся к высокотемпературным катаклазированным (деформированным) перидотитам, которые широко распространены в трубке Удачная. Однако уже упоминалось об отсутствии деформированных лерцолитов в изученной коллекции ксенолитов. Важно отметить достаточно высокий процент содержания оливинов первой группы, как для оливинов из перидотитовых ксенолитов, так и для концентрата (~ 35%), что может свидетельствовать о высоком содержании деформированных перидотитов в трубке Комсомольская-Магнитная.

Стр. 137. Вызывает сомнение корректность определения содержания редких элементов в оливинах из мантийных ксенолитов и из тяжелой фракции кимберлитов ввиду отсутствия сходства.

Стр. 139. На Рис. 81 показаны отдельные не перекрывающиеся (хотя бы частично) поля составов оливинов в координатах Fo – NiO из разных провинций (1 – Архангельская алмазоносная провинция, 2 – Якутская алмазоносная провинция, 3 – зернистые перидотиты трубки Удачная, 4 – включения в алмазах из некоторых кимберлитов ЮАР), что представляется сомнительным.

На Рис. 85 - содержание NiO (как написано в заголовке или Ni, как показано на самом рисунке?)

Стр. 155, Раздел 7.5. Гетерогенность составов минералов спутников алмаза. Диссертант делает вывод, что «Составы гранатов и пропорции гранатов различных

генетических типов могут значительно отличаться в пределах не только всего поля, но и каждой линейной цепочки кимберлитовых трубок» и даже в пределах цепочки для разных кимберлитовых тел. Однако при этом автор не учитывает, что эти различия связаны скорее не с гетерогенностью литосферной мантии, а с совершенно случайным захватом восходящим кимберлитовым расплавом в разных подводящих каналах разных трубок.

Последний подраздел главы 7.5 называется «Гетерогенность составов минералов спутников алмаза кимберлитовых тел Верхнемунского кимберлитового поля», и, видимо, автор считает, что его содержание характеризует неоднородность литосферной мантии под этим полем. На самом деле эта «гетерогенность» зависит от совершенно случайного захвата разных по составу мантийных ксенолитов восходящим кимберлитовым расплавом в каждой из трубок. Состав литосферной мантии под небольшим по площади Верхнемунским полем, предположительно, однородный и о нем следует судить, как интегральной характеристике всех изученных диссертантом ксенолитов.

В Заключении автором в краткой форме суммированы все научные выводы исследований. Можно согласиться почти со всеми из них, однако вызывает сомнение факт, в котором указывается на доминировании в разрезе мантийной колонны (начиная с глубин 180–190 км) фертильных гранатов из деформированных лерцолитов - таких разновидностей ксенолитов в коллекции не описано. Насколько корректно сравнивать составы гранатов из зернистых перидотитов с химическим составом минералов из отличающихся по петрографическим характеристикам деформированных лерцолитов из трубки Удачная?

Кроме того, возникли вопросы к выделению автором двух типов метасоматоза. Диссертант делает вывод, что глубинные, нижние части разреза литосферной мантии испытали воздействие расплавов/флюидов силикатного состава, а более верхние части разреза преобразовывались карбонатитовыми расплавами. Однако не делается никаких генетических выводов об источнике этих расплавов/флюидов и времени их проявления. Таким образом, воздействие расплавов карбонатитового состава является более ранним? Почему расплавы силикатного состава не изменили весь разрез литосферной мантии? На наш взгляд, делать выводы только на основании химического состава граната несколько опрометчиво. Показательными являются концентрации La и Yb в клинопироксенах (диаграмма Coltorti et al, 1999), но автором содержание редких элементов в клинопироксене не исследовалось.

Автор также упоминает о флогопитовом метасоматозе и о том, что в трех образцах присутствует флогопит. Однако вывод о «флогопитовом» метасоматозе сделан преимущественно на основании содержания Zr и Y в гранате (Griffin et al., 1995), более никаких петрологических доказательств и описаний флогопита в ксенолитах не приводится.

Также в целом к недостаткам диссертации можно отнести оформление списка литературы. Ссылки приведены не в алфавитном порядке, а в порядке упоминания в тексте. Данный способ цитирования является не самым удобным как для читателя, так и самого диссертанта. В некоторых местах сохранились упоминания фамилий авторов, а не порядковых номеров, что несомненно, облегчило бы поиск в списке нужного литературного источника. Кроме того, в некоторых местах указаны ошибочные ссылки на рисунки, присутствуют опечатки, что свидетельствует о некоторой небрежности работы.

Автор использовал современные аналитические методы и получил достоверные данные о составе представительного числа минералов, обеспечивающих корректность

выводов. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 15 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Web of Science) и включенных в перечень ВАК. Научные результаты также были представлены автором на многочисленных российских и международных конференциях. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Таким образом, несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Яковлева Игоря Викторовича выполнена на высоком научном уровне. Ее достоинствами являются колоссальный объем аналитических определений, выполненных диссертантом с использованием современных аналитических методов. Полученные результаты достоверны, выводы и защищаемые положения в достаточной степени обоснованы. Диссертация «**Особенности состава и строения литосферной мантии под Верхнемунским кимберлитовым полем по данным изучения перидотитовых ксенолитов и минералов спутников алмаза**» является законченной научно-квалификационной работой, которая **соответствует** требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, **а ее автор - Яковлев Игорь Викторович - заслуживает** присуждения искомой ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

3 сентября 2024 г.

Составители отзыва:

Костровицкий Сергей Иванович

Д.г.-м.н., главный научный сотрудник лаборатории № 18.1 геохимии основного и ультраосновного магматизма Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А

Тел.: +7(3952)511457

E-mail: Serkost@igc.irk.ru

Калашникова Татьяна Владимировна

К.г.-м.н., научный сотрудник лаборатории № 18.1 геохимии основного и ультраосновного магматизма Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А

Тел.: +7(3952)511457

E-mail: Kalashnikova@igc.irk.ru

Подписи д.г.-м.н. Костровицкого Сергея Ивановича и к.г.-м.н. Калашниковой Татьяны Владимировны заверяю:



Подпись *Костровицкий С.И.*
ЗАВЕРЯЮ *Калашникова Т.В.*
Зав. канцелярией *08.09.2024*
ИГХ СО РАН *Сергей*

Отзыв на диссертацию и автореферат Яковлева Игоря Викторовича заслушан и одобрен в качестве официального на заседании Ученого совета Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (протокол № 7 от 3 сентября .2024 г.).

Председатель Ученого совета
ИГХ СО РАН,
д.г.-м.н



Перепелов А.Б.

Ученый секретарь
ИГХ СО РАН,
к.х.н.



Пархоменко И.Ю.

Сведения о ведущей организации:
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им.
А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук
Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А
Официальный сайт: <http://www.igc.irk.ru>
E-mail: dir@igc.irk.ru
Телефон: +7 (3952) 426600