

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 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
НАУК**

аттестационное дело N _____

решение диссертационного совета от 26 ноября N 02/6

О присуждении Шарыгину Игорю Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация «Акцессорные минералы ксенолитов деформированных перидотитов из кимберлитов трубки Удачная-Восточная (Якутия): происхождение и петрогенетическое значение» по специальностям 25.00.05 «минералогия, кристаллография» и 25.00.09 «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» принята к защите 18 сентября 2014 г. (протокол N 02/3) диссертационным советом Д 003.067.02 на базе ФГБУН Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3; приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.)

Соискатель **Шарыгин Игорь Сергеевич**, 1984 года рождения.

В 2007 году соискатель окончил магистратуру геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета.

В 2010 году соискатель окончил очную аспирантуру в ФГБУН Институте геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов (№ 91) выдано в 2013 году (16 декабря 2013 г.) в ФГБУН Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

Соискатель работает научным сотрудником в ФГБУН Институте геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории минералов высоких давлений и

алмазных месторождений (№ 451) ФГБУН Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН.

Научные руководители – доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, Похиленко Николай Петрович, заведующий лабораторией минералов высоких давлений и алмазных месторождений (№ 451) ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, и кандидат геолого-минералогических наук, Головин Александр Викторович, старший научный сотрудник лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений (№ 451) ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

Официальные оппоненты Гаранин Виктор Константинович, доктор геолого-минералогических наук, директор Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (г. Москва), и Зайцев Анатолий Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург), дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (г. Москва)** в своем положительном заключении, подписанном Когарко Лией Николаевной, доктором геолого-минералогических наук, академиком РАН, заведующим лабораторией геохимии и рудоносности щелочного магматизма, указала, что диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям и даже превышает их, и автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.05 «минералогия, кристаллография» и 25.00.09 «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых». В отзыве отмечено, что автореферат и опубликованные статьи отражают содержание работы, а сделанные соискателем выводы следуют из проделанной им работы. В отзыве указано, что

полученные И.С. Шарыгиным результаты вносят существенный вклад в минералогию и геохимию ксенолитов из кимберлитов, а также в решение проблем петрогенезиса вмещающих кимберлитов. В отзыве имеются замечания к диссертационной работе, однако они не являются критическими и легко могут быть учтены в последующих исследованиях.

Соискатель имеет более **50** опубликованных работ, из них **17** в рецензируемых российских и международных журналах, входящих в базу данных Web of Science. По теме диссертации опубликованы **32** научные работы объёмом **16** печатных листов, в том числе **7** статей в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций (**12** печатных листов), и **25** работ в материалах всероссийских и международных конференций.

Основные публикации соискателя, в которых изложены материалы диссертации:

Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК:

1) Korsakov A.V., Golovin A.V., De Gussem K., **Sharygin I.S.**, Vandenaabee P. First finding of burkeite in melt inclusions in olivine from sheared lherzolite xenoliths // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2009. – V. 73. – № 3. – P. 424-427.

2) **Шарыгин И.С.**, Головин А.В., Похиленко Н.П. Джерфишерит в кимберлитах Куойкского поля как индикатор обогащения хлором кимберлитовых расплавов // Доклады Академии Наук. – 2011. – Т. 436. – № 6. – С. 820-826.

3) Похиленко Л.Н., Головин А.В., **Шарыгин И.С.**, Похиленко Н.П. Акцессорные минералы мантийных ксенолитов: первые находки К-Fe сульфидов, не содержащих Cl // Доклады Академии Наук. – 2011. – Т. 440. – № 4. – С. 521-526.

4) **Шарыгин И.С.**, Головин А.В., Похиленко Н.П. Джерфишерит в ксенолитах деформированных перидотитов трубки Удачная-Восточная, Якутия: проблемы происхождения и связь с кимберлитовым магматизмом // Геология и

геофизика. – 2012. – Т. – 53. – № 3. – С. 321-340.

5) Agashev A.M., Ionov D.A., Pokhilenko N.P., Golovin A.V., Cherepanova Y., **Sharygin I.S.** Metasomatism in lithospheric mantle roots: Constraints from whole-rock and mineral chemical composition of deformed peridotite xenoliths from kimberlite pipe Udachnaya // *Lithos.* –2013 – V. 160-161. – P. 201-215.

6) **Sharygin I.S.**, Golovin A.V., Korsakov A.V., Pokhilenko N.P. Eitelite from Udachnaya-East kimberlite pipe (Russia) – A new locality and host rock type // *European Journal of Mineralogy.* – 2013. – V. 25. – № 5. – P. 825-834.

7) Shatskiy A., Gavryushkin P.N., **Sharygin I.S.**, Litasov K.D., Kupriyanov I.N., Higo Y., Borzdov Y.M., Funakoshi K., Palyanov Y.N., Ohtani E. Melting and subsolidus phase relations in the system $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-MgCO}_3\pm\text{H}_2\text{O}$ at 6 GPa and the stability of $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ in the upper mantle // *American Mineralogist.* – 2013. – V. 98. – P. 2172-2182.

Избранные тезисы докладов:

1) **Sharygin I.S.**, Golovin A.V., Pokhilenko N.P. Melt pockets in sheared garnet lherzolite xenoliths from the Udachnaya-East kimberlite pipe (Yakutia, Russia) // 9th International Kimberlite Conference, 2008, Frankfurt, Germany, Extended Abstract No. 9IKC-A-00213.

2) Golovin A.V., **Sharygin I.S.**, Korsakov A.V., Pokhilenko N.P. Can be parental kimberlite melts alkali-carbonate liquids: Results investigations composition melt inclusions in mantle xenoliths from kimberlites // 10th International Kimberlite Conference, 2012, Bangalore, India, CD-volume, Abstract No. 10IKC-91.

На автореферат диссертации поступило **10** отзывов, из них **6** с замечанием. Все отзывы отмечают высокий научный уровень результатов, большой объем проделанной работы и существенный вклад соискателя в минералогию мантийных ксенолитов из кимберлитов. **Имеются следующие замечания:**

О.Б. Олейников, к.г.-м.н., исполняющий обязанности заведующего лабораторией геологии и петрологии алмазоносных провинций ФГБУН Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (г. Якутск): Из автореферата не ясно все ли минералы сульфидных глобул (пирротин, пентландит

и джерфшерит), расположенные в межзерновом пространстве породообразующих минералов, являются наложенными (стр. 9) или только джерфшерит (стр. 13).

А.В. Округин, д.г.-м.н., главный научный сотрудник ФГБУН Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (г. Якутск): Отсутствие щелочных карбонатов, сульфатов и хлоридов среди минералов интерстиционных обособлений и микрожил, в отличие от минерального состава расплавных включений в оливине ксенолитов, диссертантом объясняется декарбонатизацией расплава в межзерновом пространстве ксенолитов с выделением флюидной фазы за счет понижения давления. Такой механизм не совсем ясен рецензенту, т.к. вышеупомянутые фазы сохраняются во вмещающих ксенолиты перидотитов неизмененных кимберлитах.

О.Г. Сафонов, д.г.-м.н., заведующий лабораторией литосферы Института экспериментальной минералогии РАН (г. Черноголовка): По ходу чтения автореферата у меня возникли следующие вопросы. 1) Из автореферата не ясно, существует ли текстурная связь интерстициальных образований и жил с расплавными включениями. 2) Не может ли отсутствие щелочных карбонатов, хлоридов и сульфатов в интерстициональных образованиях и жилах в отличие от расплавных включений быть связано с растворением этих фаз в ходе низкотемпературной проработке ксенолитов? Об этом могут свидетельствовать микропустоты в клинопироксене, замещающем ортопироксен. Такой вывод следует также из того, что в нескрытых флюидных флюидных включениях солевые фазы все таки присутствуют. 3) Автор утверждает, что вторичные флюидные включения в ортопироксене изначально содержали гомогенный углекислотный флюид, обогащенный Na и Cl. Однако экспериментальные данные показывают, что растворимость NaCl в CO₂ ничтожна и такой флюид вряд ли был бы гомогенным. Этот флюид, вероятно, содержал H₂O (о чем свидетельствует образование флогопита). Но и в этом случае флюид вряд ли был гомогенным, поскольку в системе H₂O-CO₂-NaCl существует широкая область несмесимости между водно-углекислыми и водно-солевыми флюидами (напр. Аранович и др. 2010). 4) На стр. 12 автор упоминает «Na-Al-силикат» в келифитовых каймах вокруг граната, диагностируя его как «паргасит». Имел ли в виду автор действительно паргасит -

амфибол с формулой $\text{NaCa}_2\text{Mg}_4\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, или все-таки, парагонит - слюду с формулой $\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (который больше подходит под термин Na-Al-силикат)? Если же иже приведенное утверждение о его пределе стабильности 4 ГПа не верно, поскольку верхний предел стабильности Ca-Na амфибола в перидотитах ограничивается 2.5-3 ГПа (Green, 1973; Mysen, Boettcher, 1975; Niida, Green, 1999). Все сделанные замечания носят рекомендательный характер.

Н.С. Горбачев, д.г.-м.н., главный научный сотрудник Института экспериментальной минералогии РАН (г. Черноголовка): Изученные акцессорные минералы имеют наложенный характер, и, за исключением сульфидов, отсутствуют в первичных парагенезисах ксенолитов. Если это действительно так, то следовало бы обратить внимание на причины отсутствия первичных акцессорных минералов.

А.Л. Перчук, д.г.-м.н., заведующий кафедрой петрологии геологического факультета МГУ (г. Москва): В автореферате не обсуждаются причины очень низких (для мантийных расплавов) оценок минимальной температуры (600°C), полученных по расплавленным включениям. В связи с этим было бы интересно знать, позволяет ли размер фаз измерить состав силикатных минералов во включениях и получить по ним независимые оценки температуры на основе минеральной термобарометрии?

С.И. Костровицкий, д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник Института геохимии СО РАН (г. Иркутск): Не сомневаясь в высокой научной значимости результатов, выводы диссертации И.С. Шарыгина, по-существу, являются развитием идей, высказанных в работах А. Головина и Д. Каменецкого о мантийных источниках Cl и Na в кимберлитовом расплаве-флюиде, обнаруженных в так называемых неизмененных кимберлитах трубки Удачная-восточная. Эти идеи вступают в противоречие с классическими представлениями о кимберлитах, как об ультраосновных породах с калиевым уклоном, практически безнатровых (как правило, $\text{K}_2\text{O} < 0,2 \%$) и с низким содержанием хлора. Основным аргументом мантийного происхождения высокого содержания NaCl в кимберлитах у диссертанта является обнаружение во вторичных расплавленных включениях арагонита, якобы кристаллизующегося только в относительно высокобарных условиях (при этом автор ссылается на диаграмму перехода

арагонита в кальцит, построенную по экспериментальным данным). Следует, однако, заметить, что арагонит в геологических справочниках (Геологический словарь, 1978) обычно описывается, как низкотемпературный минерал, осаждающийся из горячих источников, из грунтовых вод, в морских осадках. Прекрасные друзы ветвящегося арагонита украшают многие музеи. Таким образом, диссертанту следовало бы доказать, что в описываемом им случае арагонит является особой высокобарной модификацией минерала. И.С. Шарыгин совершенно проигнорировал аргументацию поверхностного (из рассолов) происхождения NaCl в кимберлитах трубки Удачная-Восточная, высказанную в статьях рецензента и М. Копыловой.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.г.-м.н. **В.К. Гаранин** и д.г.-м.н. **А.Н. Зайцев** имеют целый ряд публикаций в соответствующей данной диссертационной работе сфере исследования и компетентны в данной отрасли науки, а **ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН** широко известен своими достижениями в данной отрасли науки и имеет структурное подразделение (**лаборатория геохимии и рудоносности щелочных пород, зав. лаб. д.г.-м.н., академик РАН, Когарко Л.Н.**), одно из основных направлений научно-исследовательской деятельности которого полностью соответствует тематике рассматриваемой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана идея о том, что рассматриваемый широкий спектр наложенных акцессорных минералов (34 минеральных видов) в ксенолитах деформированных перидотитов из кимберлитовой трубки Удачная-Восточная, присутствующих как в интерстициях между породообразующими минералами ксенолитов, так и в виде кристаллических фаз в составе вторичных расплавных и флюидных включений в породообразующих минералах, образовался в результате инфильтрации расплава, генетически связанного со среднепалеозойским кимберлитовым магматизмом, и его частичной реакцией с минералами первичного парагенезиса ксенолитов.

Выявлены особенности состава и морфологии наложенных акцессорных минералов, физико-химические условия их формирования и **доказано**, что присутствие этих минералов оказывает существенное влияние на валовые содержания редких элементов в ксенолитах. Основываясь на результатах исследования наложенных акцессорных минералов, генетически связанных со среднепалеозойским кимберлитовым магматизмом, **предложена качественная** оценка состава кимберлитовых расплавов, выносящих ксенолиты, на мантийных глубинах (более 50 км).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказаны следующие положения:

1) Идентичность минералогии раскристаллизованных вторичных расплавных включений в оливине ксенолитов деформированных перидотитов и минералогии основной массы уникальных по сохранности кимберлитов трубки Удачная-Восточная свидетельствует о генетической связи между расплавом, взаимодействовавшим с перидотитами, и магмой, формировавшей трубку. Присутствие арагонита – высокобарической полиморфной модификации карбоната кальция, совместно с щелочными карбонатами, сульфатами, сульфидами и хлоридами во включениях свидетельствует об обогащении кимберлитовых расплавов щелочами и хлором на мантийных глубинах (> 50 км).

2) В межзерновом пространстве породообразующих минералов ксенолитов установлено значительное количество акцессорных минералов (≥ 17 минеральных видов), образование которых является результатом инфильтрации расплава, генетически связанного с кимберлитовым магматизмом. Наложённые акцессорные минералы являются продуктами как реакций этого расплава с первичными минералами ксенолитов, так и непосредственной раскристаллизации расплава, преобразованного в результате реакций.

3) Генетически связанные с кимберлитовым магматизмом наложенные акцессорные минералы, такие как перовскит, апатит, слюда, джерфишерит, арагонит и кальцит, являются главными концентраторами редких элементов в ксенолитах деформированных перидотитов. Присутствие этих минералов оказывает существенное влияние на валовые содержания редких элементов в ксенолитах, увеличивая концентрации РЗЭ, Pb и Sr – в разы, а Rb, Ba, K, Th, U, Nb

и Та – на один-два порядка.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов исследования, в том числе минералого-петрографических, петрохимических, геохимических и термобарогеохимических. Петрохимические и геохимические исследования проводились с помощью методов РФА и ICP-MS. Для решения минералогических, петрографических и термобарогеохимических задач использовались методы оптической микроскопии, электронной сканирующей микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, КР-спектроскопии, вторичной ионной масс-спектрометрии. Термометрические и криометрические исследования расплавных и флюидных включений в минералах проводились в высокотемпературной микротермокамере и криокамере с визуальным контролем под микроскопом.

В диссертационной работе подробно **изложены** результаты систематического детального минералого-петрографического, петрохимического, геохимического и термобарогеохимического исследования неизмененных ксенолитов деформированных перидотитов из кимберлитовой трубки Удачная-Восточная. Установлено, что в ксенолитах деформированных перидотитов помимо минералов первичного парагенезиса (породообразующие силикаты и акцессорные Fe-Ni-Cu-сульфиды) присутствует значительное количество наложенных акцессорных минералов, представленных 34 минеральными видами, из которых 11 (расвумит, галит, сильвин, афтиталит, беркеит, тихит, ньеререит, шортит, нортупит, эйтелит и арагонит) впервые диагностированы в мантийных породах. Впервые детально изучены вторичные расплавные включения в породообразующем оливине деформированных перидотитов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: в результате исследования **представлены** новые подходы к изучению ксенолитов мантийных пород из кимберлитов, заключающийся в комплексном изучении акцессорных минералов с использованием широкого спектра современных методов исследования. Показано, что присутствие арагонита – высокобарической полиморфной модификации карбоната кальция, совместно с щелочными карбонатами, сульфатами, сульфидами и хлоридами во вторичных расплавных включениях в оливине

деформированных перидотитов свидетельствует о мантийном источнике щелочей и хлора в расплавах, формировавших кимберлиты трубки Удачная-Восточная. Опыт диагностики кристаллических фаз в расплавных включениях, представленный в диссертации, безусловно, будет полезен при дальнейшем изучении расплавных включений в минералах ксенолитов из других трубок мира. Для таких минералов как беркеит $\text{Na}_6\text{CO}_3(\text{SO}_4)_2$ и тихит $\text{Na}_6\text{Mg}_2(\text{CO}_3)_4(\text{SO}_4)$ были получены первые свидетельства их кристаллизации в магматических системах. Джерфишерит в мантийных ксенолитах рассмотрен в качестве минерала-индикатора изначального обогащения хлором кимберлитовых расплавов. Доказано, что генетически связанные с кимберлитовым магматизмом наложенные акцессорные минералы значительно влияют на валовые содержания редких элементов в ксенолитах перидотитов. Это влияние необходимо учитывать при использовании валовых геохимических характеристик нодулей для реконструкции мантийных процессов. Результаты работы имеют значение для развития представлений о процессах преобразования вещества пород основания субкратонной литосферной мантии Земли.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании: поляризационных микроскопах Carl Zeiss Axiolab Pol Canon G5 и Olympus BX51 с фотовидеокамерой Olympus COLOR VIEW III, электронных сканирующим микроскопах LEO 1430VP, JEOL JSM-6510LV и Tescan MYRA 3 LMU, совмещенных с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments), рентгеноспектральных микроанализаторах Camebax-Micro и JEOL JXA-8100, микротермокамере конструкции Н.Ю. Осоргина и А.А. Томиленко (1990), криокамере Linkam THMSG600, конфокальных системах для Рамановской спектроскопии Horiba Jobin Yvon T64000 и WITec alpha300, приборе Philips PW1404 для РФА анализа, масс-спектрометре Element XR для ICP-MS анализа и масс-спектрометре Element XR ICPMS с ультрафиолетовым лазером Excimer CompEx 102 для LA ICP-MS анализа. Работы проводились в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) и частично в Новосибирском государственном университете, в Майнцском университете

Иоганна Гутенберга (Германия) и в Университете Монпелье (Франция). Полученные на разных приборах данные хорошо согласуются друг с другом.

Теория построена на основе результатов комплексного минералого-петрографического, петрохимического, геохимического и термобарогеохимического изучения представительной коллекции (25 образцов) неизмененных ксенолитов деформированных перидотитов из кимберлитовой трубки Удачная-Восточная. **Идеи диссертации базируются** как на общепринятых моделях и концепциях, касающихся проблематики – представлениях о генезисе акцессорных минералов в мантийных ксенолитах, петрогенезисе мантийных ксенолитов и кимберлитов, так и на вновь развивающихся гипотезах. Результаты не противоречат ранее опубликованным экспериментальным данным по этой теме.

Установлена согласованность результатов исследования с некоторыми данными, полученными при исследованиях акцессорных минералов в мантийных ксенолитов, минералогии кимберлитов, а также при экспериментальных исследованиях, касающихся проблем петрогенезиса мантийных ксенолитов и кимберлитов.

В ходе работ были **использованы** современные методики пробоотбора и пробоподготовки. Подготовлены и детально изучены прозрачные шлифов и полированные с двух сторон пластинки (более 200) и более 500 препаратов для исследований; выполнено более 400 микронзондовых определений состава породообразующих минералов и более 1000 – акцессорных минералов; получено более 2000 энергодисперсионных спектров акцессорных минералов, более 500 изображений в отраженных электронах, и более 100 карт распределения элементов методом сканирующей электронной микроскопии; получено и расшифровано более 500 спектров комбинационного рассеяния света акцессорных минералов; проведено более пятидесяти термометрических и более пятидесяти криометрических опытов с расплавленными и флюидными включениями; получены данные по петрохимическому и валовому редкоэлементному составам 8 ксенолитов из коллекции, а также данные по редким элементам в породообразующих минералах ксенолитов.

Личный вклад соискателя состоит в проведении пробоподготовки

полевого материала для лабораторных исследований. Минералого-петрографические исследования с помощью методов оптической микроскопии, электронной сканирующей микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, спектроскопии комбинационного рассеяния света, а также исследования расплавных и флюидных включений с помощью комплекса методов термобарогеохимии проводились лично автором. Основу диссертации составляют исследования, проведенные в период 2005-2013 гг. Моделирование контаминации ксенолитов деформированных перидотитов трубки Удачная-Восточная кимберлитовым расплавом и расчет влияние аксессуарных минералов на валовый редкоэлементный состав ксенолитов проводились лично автором. Совместно с соавторами опубликованных работ проведена интерпретация полученных данных, написаны тексты статей, тезисов докладов для конференций. Соискатель принимал личное участие в апробации результатов исследования.

На заседании **26 ноября 2014 г.** диссертационный совет принял решение присудить **Шарыгину Игорю Сергеевичу** ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 9 докторов наук по специальности 25.00.05 и 10 докторов наук по специальности 25.00.09, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета



Н. В. Соболев

Ученый секретарь диссертационного совета



О. Л. Гаськова

28 ноября 2014 г.