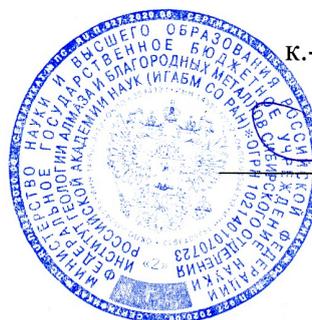


УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ФГБУН
Институт геологии алмаза и
благородных металлов
(ИГАБМ) СО РАН
к.-г.м.н. А.В. Прокопьев



12 сентября 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного учреждения науки (ФГБУН) Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (ИГАБМ) на диссертацию *Ильиной Ольги Владимировны* «Содержание и распределение элементов группы платины в мантийных ксенолитах кимберлитовой трубки Удачная (Якутия)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Представленная О.В. Ильиной диссертационная работа посвящена изучению распределения элементов платиновой группы (ЭПГ) в ксенолитах перидотитов и эклогитов одного из крупнейших в мире месторождений алмаза трубки Удачная с **целью** выявления особенностей распределения ЭПГ в глубинных ксенолитах, несущих индикаторные характеристики о петрогенетических процессах в верхней мантии. **Актуальность** темы исследований автора определяется тем, что изучение ксенолитов, вынесенных на поверхность кимберлитами, является прямыми источниками сведений о составе и термальном режиме литосферной мантии. **Практическая значимость** работы заключается в том, что такие сведения дополняют представления о мантийных процессах и могут быть применены для разработки модели строения верхней мантии для района нахождения трубки Удачная, уникальной по своему строению, алмазоносности и составу ксенолитов.

Научная новизна работы состоит в том, что она посвящена мало изученной на

данный момент проблеме распределения ЭПГ в ксенолитах кимберлитов и, в особенности, автором впервые определены содержания платиноидов не только в валовом составе пород ксенолитов, но и в других их минеральных фазах (оливине и сульфидах). При этом О.В. Ильиной решались несколько интересных **новых задач**: измерение содержаний ЭПГ в породах и их минералах методом изотопного разбавления, а также интерпретация полученных данных в свете распределения ЭПГ между разными минеральными фазами при различных условиях петрогенеза.

Фактическим материалом для выполненной работы послужила коллекция из 25 ксенолитов кимберлитов тр. Удачная-Восточная из фонда лаборатории № 451. Автором лично выполнены работы по пробоподготовке, изучению минерального состава пород, выполнению фотографических и графических материалов. Результаты работ **апробированы и опубликованы** в 2 статьях в рецензируемых журналах и 11 тезисах российских и зарубежных конференций. Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке в рамках гранта Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2020-791 от 02 октября 2020 г.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 9 глав содержащих 27 рисунков, заключения, списка литературы из 116 наименований и приложения из 12 таблиц, общим объемом 88 страниц. **В первой главе** приведен обзор литературы, посвященной изучению содержаний ЭПГ в ксенолитах из кимберлитов, а также рассмотрены некоторые нюансы степени распределения платиноидов между разными типами ксенолитов и их отдельных минеральных фаз. Показано, что ксенолиты перидотитов из кимберлитов имеют схожие с примитивной мантией средние содержания тугоплавких платиноидов иридиевой подгруппы (ИЭПГ) и пониженные концентрации легкоплавких – платиновой подгруппы (ПЭПГ). По данной главе нет особых замечаний, кроме тех замечаний-рекомендаций, которые будут приведены в целом в разделе «Замечания». **Во второй и третьей главах** приведены краткие данные о геологической характеристике объекта исследований и методам исследования, соответственно. Следует отметить, что для определения микроколичеств ЭПГ применялся довольно сложный метод изотопного разбавления и впервые в России были получены анализы для перидотитов и их минеральных фаз.

В последующих **(4-6) главах** дано петрографическое описание исследованных ксенолитов, химический состав минералов и пород соответственно. В наиболее насыщенной оригинальным фактическим материалом **7 главе** рассматривается распределение ЭПГ в мантийных ксенолитах тр. Удачная и их минералах, а также для

сравнительного анализа приведены данные по ЭПГ импактитов Попигайской астроблемы. **Глава 8** посвящена оценкам $P-T$ параметров равновесия минеральных парагенезисов в деформированных и равномернозернистых перидотитах и эклогитах, вычисленных с помощью различных известных минеральных геотермобарометров и привлечением других литературных данных. В последней **9 главе** на основе особенностей распределения ЭПГ в зависимости от содержаний других основных окислов и микроэлементов и их корреляционных зависимостей в различных группах ксенолитов диссертантом рассматриваются возможные варианты появления таких ксенолитов при разной степени деплетирования мантийных перидотитов или привнесом ЭПГ флюидом при метасоматических процессах. В **заключении** приводятся главные выводы работы, среди которых можно выделить:

1) Распределение ЭПГ в исследованных перидотитах схоже с таковым в кратонных перидотитах мира и в целом характеризуются повышенным содержанием ИЭПГ по отношению к ПЭПГ.

2) Эклогиты характеризуются повышенными содержаниями ПЭПГ по отношению к ИЭПГ, их содержание соответствует составам ЭПГ в базальтах срединных океанических хребтов, а форма спектров схожа с таковой в эклогитах мира.

3) В перидотитах оливины содержат ЭПГ на 2-3 порядка ниже, чем сульфиды, и на один порядок ниже, чем валовый состав пород. ЭПГ в ксенолитах содержатся в сульфидах и во включениях интерметаллических соединений в оливинах.

Защищаемые положения в целом отражают содержание проведенных исследований. В первом защищаемом положении *«Большая часть ЭПГ в перидотитах кимберлитовой трубки Удачная находятся в сульфидах и во включениях интерметаллических соединений (5–15 мкм) в оливинах. Содержания ЭПГ в оливинах на 2-3 порядка ниже, чем в сульфидах»* автор на диаграммах распределения ЭПГ нормированных по хондриту показывает, что содержания ЭПГ в сульфидах деформированных перидотитов на 2-3 порядка выше такового в породе в целом. Образцы деформированных перидотитов, в которых визуальными были обнаружены сульфиды, обогащены Pd, а форма спектров ЭПГ сульфидов и породы в целом совпадает.

Второе защищаемое положение *«При силикатном метасоматозе деформированных перидотитов кимберлитовой трубки Удачная увеличение количества граната и клинопироксена сопровождается обеднением пород тугоплавкими ЭПГ и неравномерным обогащением легкоплавкими ЭПГ, которое происходит в результате формирования субмикронных сульфидных фаз в*

межзерновом пространстве» автором обосновывается тем, что с увеличением концентраций $Al_2O_3 + CaO$ происходит повышение содержаний Pt + Pd в них. Следовательно, возрастание содержаний Pd в деформированных перидотитах происходило в рамках единого метасоматического процесса, вероятно во время модального метасоматоза силикатными расплавами в результате формирования сульфидных фаз в интерстициях.

В третьем защищаемом положении *«ЭПГ в равномернозернистых перидотитах кимберлитовой трубки Удачная содержатся во включениях интерметаллических соединений в оливинах. Вариации содержаний Os, Ir, Ru отражают различную исходную степень плавления перидотитов. Сульфиды метасоматического генезиса приурочены к обогащенным палладием образцам. Распределение ЭПГ в эклогитах кимберлитовой трубки Удачная находятся в пределах значений, характерных для MORB-базальтов»* доказывається, что возможной причиной широкого диапазона ИЭПГ в валовом составе перидотитов является «эффект самородка», который сохраняет обогащенные Os, Ir, Ru, Pt реститовые минералы платиновой группы.

Замечания: О.В. Ильиной, несомненно, получены новые интересные фактические данные по распределению ЭПГ в ксенолитах кимберлитовой трубки Удачная-Восточная, однако наши сотрудники, ознакомившиеся с представленной диссертационной работой, высказали много критических замечаний:

1. Предметом исследований являлись ксенолиты из трубки Удачная-Восточная, следовательно, правильнее было бы употреблять название «Удачная-Восточная».

2. Названия и нумерация глав (кроме первых четырех) указанных в автореферате не соответствуют оглавлению диссертации.

3. На некоторых рисунках подписи не соответствуют содержанию (например, рис. 16, FeO (e) и значок 3) или описание структур пород (Рис. 3 г, в, е и т.д.) не соответствуют подписи. Ещё необходимо было бы в подписях к рисункам с фотографиями и на диаграммах приводить номера проб, что облегчило бы сопоставление фото проб с их табличными и графическими данными для более детального комплексного восприятия и анализа.

4. В «Литературном обзоре» (Глава 1) диссертант описывает исследования в области изучения ЭПГ мантийного материала из трубки Удачная только в свежих публикациях, незаслуженно вычеркнув, таким образом, более ранний вклад в изучение данного вопроса отечественных ученых (Ю.П. Барашкова и И.С. Шарыгина). Хотя в своей дипломной работе 2013 года она ссылалась на работы этих авторов.

5. Во второй главе при геологическом описании кимберлитовых тел допущен ряд неточностей. Например, пишется «Характер взаимоотношения между типами кимберлитов, а также особенности механизма их становления указывают на то, что в сложном процессе формирования кимберлитов, равно как и других вулканитов, строго выдержана определенная последовательность: первыми образуются туфы и туфобрекчии, затем эруптивные брекчии и, наконец, массивные кимберлиты». Фраза эта, по-видимому, взята из монографии Коренные месторождения алмазов мира. / Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. М.: Недра, 1998. Однако, в более поздних публикациях этих и других авторов (например, Занкович, 2004; Костровицкий, 2009; Егоров, Мельников, 2013; Костровицкий и др., 2015; Зинчук, 2016; 2022), все они придерживаются того, что в большинстве исследованных трубок начальным фазам внедрения отвечают порфиновые кимберлиты с массивной текстурой, а конечным – кимберлитовые брекчии, автолитовые брекчии. Это подтверждается и петрохимическими данными. В общем, создается впечатление, что диссертант решил не уделять должного внимания геологической части, поскольку она не является предметом исследовательской работы и воспользовался либо устаревшими данными, либо допустил вольности в изложении информации, что может ввести в заблуждение тех, кто не осведомлён в данном вопросе.

6. В Главе 5 «Химический состав минералов» диссертант, анализируя график зависимости магнезиальности и модального состава оливина, пишет: «Подавляющее большинство оливинов деформированных перидотитов имеют магнезиальность, близкую к оливинам деформированных перидотитов Южной Африки (Рис. 7а) [Boyd, 1989]. Точки значений для оливинов трех равномернозернистых перидотитов трубки Удачная находятся в поле составов деформированных перидотитов, и два образца из шести идентичны зернистым перидотитам Южной Африки по составу оливинов.»

Заметим, что поле оливинов из деформированных перидотитов Южной Африки, выделенное на рисунке прозрачным овалом, ограничено значениями $Mg\# \sim 90,2$ и $92,2$, а изученные диссертантом оливины из деформированных перидотитов обозначены синими кружками со значениями $Mg\#$ от $86,81$ до $90,95$. При этом, только 5 из 10 зерен действительно близки по $Mg\#$ южно-африканским аналогам, а это далеко не «подавляющее большинство», как пишет диссертант. Остается и без обсуждения тот факт, что только 2 образца оливина из зернистых перидотитов из 6 имеют магнезиальность, аналогичную таковой для оливинов из зернистых перидотитов Южной Африки.

Далее диссертант пишет, что «Все оливины имеют положительную корреляцию магнезиального номера с содержанием NiO ($R^2=0,49$; $0,61$ в деформированных и

равномернозернистых породах, соответственно)» И здесь тоже хотелось бы обсуждения, выводящего данную закономерность на генетический уровень: это изначальная корреляция или к ней привели какие-либо мантийные процессы. Кроме того, на графике зависимости между Mg# и NiO отсутствуют две точки состава оливинов из равномернозернистых перидотитов. Остается неясным, это техническая ошибка или в них не определено содержание NiO? Следовало бы отметить, что корреляция в оливинах из деформированных ксенолитов слабая, в равномернозернистых – средняя (по шкале Чеддока). Соответственно, только 24% и 37% вариабельности одной переменной объясняется вариабельностью другой.

7. В целом представляется неоправданно раздробленной структура диссертации, которая занимает всего 56 страниц текстового материала, разделенных на 9 глав. Так, в Главе 4 «Петрографическая характеристика исследованных пород» по непонятной причине в отдельный раздел 4.2 вынесены сульфиды с описанием их морфологии и состава. Логичнее было бы морфологию сульфидов включить в описание пород (как это сделано для других минералов), а состав – в соответствующую главу (Глава 5. «Химический состав минералов»). Глава 8 «РТ параметры равновесия минеральных парагенезисов» занимает по сути 1 стр. Эти данные можно было бы разместить пятым разделом в Главе 5 «Химический состав минералов», поскольку РТ параметры рассчитываются на основе состава минералов. Глава 9 «Особенности распределения ЭПГ в различных группах мантийных ксенолитах» из 4 страниц вполне вписалась бы разделом 7.4 в Главу 7 «Распределение ЭПГ в мантийных ксенолитах трубки Удачная».

8. Интерпретируя свои аналитические данные, диссертант придерживается традиционных генетических представлений, что различные содержания ЭПГ в перидотитах обусловлены удалением их выплавками или привнесом флюидом при метасоматических процессах. При этом допускаются много гипотетических предположений противоречивого характера, поэтому можно было рассмотреть и другие, хоть и не очень популярные гипотезы. Например, В.С. Шкодзинским (2003, 2018 и др.) на основе модели горячей гетерогенной аккреции Земли и фракционирования на ней глобального магматического океана доказывалось, что при затвердевании нижнего перидотитового слоя происходит последовательное образование из его остаточных расплавов различных щелочных, кимберлитовых и карбонатитовых магм. Однако вязкость слабо подплавленных мантийных пород составляет 10^{20} - 10^{22} пуаз и при такой огромной вязкости выплавки за всю историю Земли способны всплыть лишь на доли миллиметра, что не может привести к процессам деплетирования. В мантии вследствие

огромного давления не могут существовать открытые трещины и поры, необходимые для движения флюида, поэтому в мантии не могут существовать флюид и связанные с ним метасоматические процессы. Находки флюидных включений в мантийных породах объясняются выделением растворенных газов из кристаллизовавшихся расплавов. Сделанные замечания отражают слабую разработанность теории глубинных процессов и не могут быть поставлены в вину диссертанту.

9. При обсуждении резко повышенных концентраций ЭПГ в сульфидах на 2-3 порядка, чем в породах самих перидотитов и эклогитов необходимо рассмотреть очень важный ликвационный механизм силикатно-сульфидного разделения магмы, который приводит к формированию даже крупнейших ЭПГ-Cu-Ni-месторождений, связанных с расслоенными мафит-ультрамафитовыми интрузивами и архейскими коматиитовыми лавами. Как было показано в работе (Naldrett, Duke, 1980) спектр распределения ЭПГ в сульфидах из месторождений Садбери и коматиитов Камбалда колеблется от 0,1 хондритовой единицы для тугоплавких Os и Ir до 10 х.е. для Pd, что определяется очень высокой степенью (несколько порядков) распределения ЭПГ в сульфидную жидкость. Таким образом, необязательно привлекать только гипотетический метасоматический процесс для привноса легкоплавких и более халькофильных платиноидов, вполне достаточно для этого мизерных ликвационных капелек сульфидов, отделяющихся от мафит-ультрамафитовых магм.

Все указанные выше замечания касаются технически-редакторских сторон и спорных генетических аспектов работы, которые неизбежны при написании кандидатской диссертации, но конечно снижают общее хорошее впечатление о качестве материалов и научных выводах полученных диссертантом, и рецензенты надеются, что автор их учтет при дальнейших своих исследованиях. Диссертация **«Содержание и распределение элементов группы платины в мантийных ксенолитах кимберлитовой трубки Удачная (Якутия)»** является цельным научным трудом с достаточной проработкой фактического материала, по выявлению особенностей распределения ЭПГ в глубинных ксенолитах несущих индикаторные характеристики о петрогенетических процессах и имеющих существенное значение для понимания эволюции литосферной мантии под древними кратонами. Работа соответствует выбранной специальности и квалификационным требованиям Положения ВАК о присуждении ученой степени кандидата геолого-минералогических наук и её автор **Ильина Ольга Владимировна** заслуживает присуждения искомой степени по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Обсуждение диссертации состоялось 9 сентября 2022 г. на объединенном заседании сотрудников лабораторий Геологический музей и Геология и петрология алмазоносных провинций ИГАБМ СО РАН с приглашением д.г.-м.н., внс. Лаборатории металлогении В.С. Шкодзинского, одним из основных направлений научно-исследовательской деятельности которых является изучение основного и ультраосновного платформенного магматизма и его оруденения. В итоговом отзыве включены замечания и рекомендации С.А. Бабушкиной, О.Б. Олейникова, В.С. Шкодзинского и А.В. Округина.

Отзыв составили:

г.н.с. лаборатории Геологический музей, д. г.-м. н.  Округин А.В.
677000 г. Якутск, пр. Ленина 39, Институт геологии алмаза и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН, тел. 8-914-2623874, okrugin@diamond.ysn.ru

с.н.с. лаборатории Геологии и петрологии алмазоносных провинций, к. г.-м. н.  Бабушкина С.А.
677000 г. Якутск, пр. Ленина 39, Институт геологии алмаза и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН, тел. 8-914-2348802, ssta@list.ru

Мы, Округин Александр Витальевич и Бабушкина Светлана Анатольевна, даем свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Отзыв на диссертационную работу О.В. Ильиной заслушан и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета ИГАБМ СО РАН 12 сентября 2022 г. (Протокол № 12/22).

Заместитель председателя Ученого совета,
заместитель директора ИГАБМ СО РАН, к.-г.м.н.  Прокопьев А.В.

Ученый секретарь ИГАБМ СО РАН, к. г.-м. н.  Лоскутов Е.Е.

12 сентября 2022 г.

Подписи Округина А.В., Бабушкиной С.А., Прокопьева А.В. и Лоскутова Е.Е. заверяю:





А.Н. Малгина