

Отзыв  
официального оппонента  
на диссертационную работу Ильиной Ольги Владимировны,  
«Содержание и распределение элементов группы платины в мантийных  
ксенолитах кимберлитовой трубы Удачная (Якутия)»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 –  
геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Проблема характеристики состава, эволюции и термального режима глубинных зон литосферной мантии долгое время привлекает внимание исследователей, как в России, так и за рубежом. В настоящее время накоплен достаточно большой объем данных по мантийным ксенолитам из кимберлитов разных месторождений мира. Однако, данные по содержанию и распределению элементов группы платины (ЭПГ) в ксенолитах пока ограничены. В связи с этим, поведение ЭПГ в процессах эволюции литосферной мантии, частичного плавления, фракционной кристаллизации и мантийного метасоматоза остается недостаточно охарактеризованным. В представленной работе была поставлена задача изучения особенностей распределения ЭПГ в мантийных ксенолитах из кимберлитовой трубы Удачная и выяснение их роли в интерпретации происхождения пород литосферной мантии. Актуальность данной темы не подвергается сомнению. В работе приведены результаты изучения коллекции из разных типов мантийных пород из кимберлитовой трубы Удачная: деформированных перidotитов, равномернозернистых перidotитов, мегакристаллических гарцбургит-дунитов и эклогитов. Исследования были проведены с использованием уникальной методики изотопного разбавления, что позволило получить достоверные данные по содержанию ЭПГ в оливинах и валовых пробах мантийных ксенолитов, и является большим преимуществом представленной к защите работы.

Диссертация достаточно хорошо структурирована и включает в себя Введение, девять глав, Заключение и список литературы, а также Приложение из 12 таблиц с аналитическими данными. Объем работы составляет всего менее 90 страниц, но, несмотря на такую нарочитую лаконичность, необходимая информация по теме диссертации и полученным результатам представлена.

Во Введении кратко обобщены литературные данные по теме и определены цели и задачи исследования. В этом разделе кратко описаны методы исследования, фактический материал, использованный автором, и сформулированы научная новизна проведенных исследований и основные защищаемые положения.

В первой главе приводится авторское детальное обобщение литературных данных по геохимии ЭПГ в мантийных породах Якутии и

других кимберлитовых провинций мира. Приведены основные “классические” представления о поведении ЭПГ в литосферной мантии, в частности выделение двух контрастных по поведению групп, иридиевой (ИЭПГ) и платиновой (ПЭПГ). В списке использованной литературы, однако, нет ни одной ссылки на публикации или монографии Д.А. Додина – общепризнанного специалиста в России по геологии и геохимии ЭПГ. Также следовало бы к обзору данных по геохимии ЭПГ в образцах из пород трубы Удачная добавить работу Д.А. Ионова с соавторами (Ionov et al., 2020), а при обсуждении минеральных форм нахождения ЭПГ в кимберлитах – работу (Stone W.E., Fleet M.E. (1990) Platinum-iron alloy ( $Pt_3Fe$ ) in kimberlite from Fayette County, Pennsylvania. Am. Mineral. 75:881–885). Отсутствие в диссертации вышеупомянутой информации и ссылок на работы предшественников можно отнести к недостаткам представленной работы.

Вторая глава посвящена геологической характеристике объекта исследований – трубы Удачная, а также затрагивает основные особенности геологического строения Якутской кимберлитовой провинции. На первый взгляд видно, что в этом разделе не хватает более современных обобщающих данных, к примеру Парфенова Л.М. и Смелова А.П., которые существенно скорректировали прежние представления о строении Западной Якутии в свете новых данных, полученных за последние полвека. Вызывают также некоторые вопросы, касающиеся очередности внедрения различных типов кимберлита. Есть нарекания по авторскому описанию и толкованию геологической позиции кимберлитовой трубы Удачная. Оно не учитывает новые данные, полученные за последние 5 лет при разведке флангов и глубоких горизонтов. Эти неточности, тем не менее, не повлияли на выводы и защищаемые положения диссертации.

Третья глава посвящена методам исследований. В краткой форме изложены основные методы, использованные автором, в целом глава написана хорошо и замечаний не вызывает. Метод изотопного разбавления описан достаточно подробно, в приложении приведены результаты анализов международных стандартов ЭПГ, что подтверждает качество проведенных аналитических работ. Осталось, однако, неясным каким методом были определены концентрация Rh в породах и минералах. Ограничением метода изотопного разбавления с масс-спектрометрическим окончанием является необходимость наличия двух стабильных изотопов определяемого элемента, по возможности свободных от изобарных наложений. Все ЭПГ, кроме родия, являющегося моноизотопным элементом ( $^{103}Rh$ ), удовлетворяют этим требованиям. В диссертации приводятся и обсуждаются концентрации родия в породах и минералах, хотя в методической части (стр. 18 и 19) о родии не упоминается. Также в диссертации не обсуждается отсутствие данных по концентрациям Os в ряде образцов пород и минералов, что вероятно обусловлено

существенными потерями данного элемента при химической пробоподготовке.

Четвертая глава посвящена описанию петрографии исследованных ксенолитов. Сжатая форма изложения этой части работы, вероятно, обусловлена желанием соискателя сосредоточиться на других задачах диссертации. При этом дается достаточное для специалистов представление об изучаемых породах. В дальнейшем это использовано для выяснения связи особенностей распределения ЭПГ от петрографических разновидностей и степени деформации пород. В этой части диссертации также рассмотрен химический состав сульфидов, что логичнее было бы отнести к следующей главе. Очень схематично дана информация по изученным сульфидам. Например, хотелось бы увидеть результаты диссертанта, которые можно было бы сопоставить с детальными исследованиями сульфидов из деформированных и мегакристаллических перidotитов трубы Удачная, изученных Алардом и др. (Alard et al., 2000) и Гриффином с соавторами (Griffin et al., 2002). В частности, в работе Гриффина и др. (2002) дается детальная минералогическая и геохимическая характеристика 4 типов сульфидов (состоящих из Ni-содержащего и Fe-содержащего моносульфидных твердых растворов, окруженных прерывистой зоной пентланидита и внешней каймой халькопирита), а также приводится интерпретация их генезиса. Учет информации о генетических особенностях выделенных групп сульфидов (Alard et al., 2000; Griffin et al., 2002) позволила бы диссидентанту критично оценить полученные им результаты и менее схематично (более точно) сформулировать 2-е и 3-е защищаемые положения.

В пятой и шестой главах приведена характеристика особенностей состава главных и редких элементов минералов и валового состава пород. Эти данные ранее были достаточно детально рассмотрены в публикациях автора и ее научного руководителя, но, они имеют важное значение для последующей интерпретации полученных новых данных. В результате проведенных исследований соискателем показано, что по содержаниям главных элементов перidotиты являются реститами высокой степени частичного плавления, которые впоследствии были обогащены несовместимыми элементами в процессе мантийного метасоматоза. Показаны различия между деформированными и зернистыми перidotитами, которые обусловлены воздействием разных типов метасоматоза. Модальный метасоматоз проявлен в деформированных перidotитах и выражен в обогащении пород клинопироксеном и гранатом, что ведет к эволюции составов пород в сторону примитивной мантии. Зернистые перidotиты подвергнуты в основном скрытому метасоматозу, выраженному в обогащении несовместимыми редкими элементами без значимого увеличения содержаний CaO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Химический состав эклогитов близок к составу базальтов COX и свидетельствует о магматическом протолите.

Седьмая глава непосредственно посвящена анализу полученных в диссертации результатов в породах. Приведены диапазоны концентраций ЭПГ и формы распределения этих концентраций, нормированных на состав хондрита и показаны различия по этим параметрам между типами пород. Установлено, что деформированные перидотиты характеризуются близкими формами спектров в ряду Os-Pt, около 0,01 хондритовых единиц, и широкими диапазонами по содержаниям Pd и Re. Отмечается отрицательная корреляция содержаний совместимых (тугоплавких) ЭПГ с содержанием магмафильных компонентов,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$ . В отличие от деформированных зернистые перидотиты показывают широкие вариации содержаний всех ЭПГ, но содержания совместимых ЭПГ регулярно выше чем несовместимых. Форма распределения ЭПГ в эклогитах сильно отличается от таковой для перидотитов. Для эклогитов характерен наклонный тип графика и пониженные содержания ИЭПГ по ПЭПГ, что свидетельствует о магматическом протолите для этих пород и соответствует выводу соискателя об их субдукционной природе.

В седьмой главе также приводятся содержания ЭПГ в отдельных минералах исследованных пород. Содержание ЭПГ в сульфидах на 2 порядка выше, чем в породе, а в оливинах на 1-2 порядка ниже. Таким образом, выявлено, что основной вклад в содержание ЭПГ пород вносят сульфиды. Для эклогитов наблюдается некоторое несоответствие формы распределения ЭПГ в сульфидах и породах. Конкретно, отличие заключается в наличии максимума по содержаниям Ru в сульфидах, который отсутствует в породах. Природа этого различия вызывает вопросы, и соискатель предполагает присутствие отдельной сульфидной фазы лаурита (RuS). К сожалению, проанализировано только 3 образца эклогита, что не позволяет сделать достоверных выводов об эволюции состава ЭПГ во время их нахождения в литосферной мантии и раскрыть природу Ru аномалии наблюданной в 2 из трех образцов. Также, для сравнения рассмотрены составы ЭПГ в гнейсах мишени и импактитах попигайской астроблемы, показано резкое отличие форм распределения ЭПГ в коровых и мантийных породах.

В восьмой главе приведены расчетные данные по оценке Р-Т параметров последнего равновесия, рассчитанные с помощью известных термобарометров и положение пород в разрезе литосферной мантии. Логичнее было бы, однако, расположить эту главу сразу после характеристики состава минералов на основе которого сделаны расчеты.

В завершающей главе проведена интерпретация полученных результатов и рассмотрены возможные причины вариаций содержаний и форм распределения ЭПГ в мантийных породах учетом известных геохимических систематик. Деформированные перидотиты расположены в нижней части разреза литосферной мантии и характеризуются сравнительно однообразным распределением ЭПГ в ряду Os-Pt. Поэтому логично предполагается их генетическое родство и обусловленность вариаций содержаний ЭПГ общими для группы образцов частичным

плавлением в случае тугоплавких ЭПГ и разной степенью последующего метасоматического обогащения для Pd и Re. Это отражено во втором защищаемом положении. Также, показано, что увеличение содержаний Pd коррелирует со степенью модального метасоматоза. Для зернистых перidotитов и дунитов, имеющих широкие вариации содержаний ЭПГ, интерпретация представляется не столь определенной. На основании сравнения оливина, имеющего предельно низкие содержания ЭПГ (в работе обозначен как стандарт) делается вывод, что ЭПГ сосредоточены в субмикронных включениях сульфидов и интерметаллических соединений. Роль оливина как концентратора ЭПГ представляется недооцененной, т.к в некоторых оливинах содержание ЭПГ менее чем на порядок ниже чем в валовом составе пород. Причиной широких вариаций содержаний ЭПГ может быть, как эффект самородка, т.е. фактор случайности так и закономерная изменчивость в зависимости от разной степени частичного плавления которой подверглись породы. Соискатель, вероятно, придерживается второго варианта. В пользу этого предположения также говорит повышенное в этих образцах содержание Pt, которая накапливается в интерметаллических соединениях при экстремальных степенях частичного плавления. К сожалению автор не показал возможные вариации содержаний ЭПГ в зависимости от положения в разрезе мантии для зернистых перidotитов. В эклогитах, содержания и распределения ЭПГ отличаются от таковых для перidotитов и больше соответствует составам ЭПГ в базальтах СОХ.

Выводы, сделанные в работе, представляются корректными насколько это возможно опираясь на полученные аналитические данные. Для более однозначной интерпретации и выводов конечно же необходимо большее количество данных по зернистым перidotитам и эклогитам, но метод изотопного разбавления не позволяет делать массовые анализы.

К недостаткам работы следует отнести некоторую небрежность в оформлении, в частности расхождения в нумерации глав между авторефератом и диссертацией. Несмотря на отмеченные недостатки в оформлении и сделанные замечания, в целом, работа производит хорошее впечатление. Несомненно, работа обладает научной новизной и представляет интерес для широкого круга специалистов в области мантийной петрологии и циркуляции вещества между оболочками Земли. Впервые были проведены исследования содержаний ЭПГ в породе в целом, и в ее минералах, сульфидах и оливинах. Получены новые данные, имеющие существенное значение для изучения состава и эволюции литосферной мантии под древними Архейскими кратонами. По результатам диссертационного исследования опубликовано 2 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК и более 10 тезисов в материалах научных конференций. Таким образом, диссертация Ильиной О.В. соответствует требованиям ВАК, а ее автор достойна присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 - «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Доктор г.-м. н., профессор РАН



Зедгенизов Д.А.

9.09.2022

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заваризкого Уральского  
отделения РАН

620016, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Тел.: (343) 287-90-12

E-mail: director@igg.uran.ru



Я, Зедгенизов Дмитрий Александрович, даю согласие на включение своих  
персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного  
совета, и их дальнейшую обработку.