

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Резвухина Дмитрия Ивановича
**«ГРАНАТЫ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ ОКСИДОВ И СУЛЬФИДОВ ИЗ
КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНАЯ: МИНЕРАЛОГИЯ,
ГЕОХИМИЯ И СВЯЗЬ С ПРОЦЕССАМИ МАНТИЙНОГО МЕТАСОМАТОЗА В
ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ МИРНИНСКОГО ПОЛЯ, СИБИРСКИЙ КРАТОН»,**
представленную на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия,
кристаллография

Очень интересная работа, и актуальность этой работы вполне очевидна. Все что касается мантийных пород и минералов из них, в том числе и алмазоносных, а также процессов их метасоматической проработки – это все исключительно важные моменты, определяющие сложность мантийных процессов и дающих ответ на многие вопросы генезиса этих пород, в том числе и алмазоносных.

При этом в работе обращено внимание на то, что в меньшей степени по сравнению с ксенолитами изучены такие сложные ассоциации минералов (кроме алмаза) как включения в индикаторных минералах глубинных пород (оливине, гранате и прочее). Конечно, такие работы были, и были среди них достаточно интересные. К сожалению, среди цитируемой в работе Д.И. Резвухина по этому поводу литературы нет тех предыдущих работ, которые являются достаточно значимыми. Например, хорошо известная и в определенной степени пионерская работа конца 80-х годов А.Н. Крота **«Минеральные включения в гранатах из кимберлитовых трубок Мало-Ботубинского поля, их генетическое и прикладное значение», 1989 г.** В этой работе фигурируют данные по многочисленным включениям в гранате из трубки Интернациональная, а также Мир, Спутник и др.

Цель работы – «комплексное изучение гранатов с минеральными включениями оксидов и сульфидов из кимберлитов трубки Интернациональная и интерпретация полученных данных для установления генезиса изученных гранатов» **Нам кажется, что это не совсем корректно, поскольку «Комплексное изучение гранатов ...» не может являться целью исследования. Целью является то, что из этого мы можем получить, к чему мы должны подойти, решая разнообразные задачи, которые сформулированы вполне корректно.**

Объект исследования, фактический материал – здесь все понятно. Обращает на себя внимание разнообразие ультрасовременных тонких методов изучения минерального вещества. Это большое достижение автора данной работы точно так же, как и упорство при подготовке препаратов. Ведь надо было сделать полированные пластинки граната с выведенными на их поверхность включениями. По опыту знаем, что это трудная задача.

Вполне достаточно и полно отражена научная новизна и значимость проведенных исследований. **Есть только замечание к пункту 7. Впервые получены данные о вертикальной гетерогенности мантийной колонны. Это звучит несколько странно, т.к. мантия в своем вертикальном, да и горизонтальном срезе представляет собой сложно построенную гетерогенную систему. При этом мы даже, как мне кажется, и не совсем понимаем, насколько разрез мантии сложен и разнообразен. Это очевидно.**

Практическую значимость можно было представить и более значимо.

Результаты работы соответствуют пункту 2 (минералогия земной коры и мантии Земли, ее поверхности и дна океанов) паспорта специальности 25.00.05.

Публикации и апробация работы достаточны. По теме диссертации опубликовано 3 статьи в российских и зарубежных рецензируемых журналах, докладывались на Международных конференциях.

Диссертация состоит из введения, 8 глав и заключения общим объемом 173 страницы. В ней содержится 69 рисунков, 4 таблицы и 5 приложений. Список литературы включает 187 наименований.

Несколько удивило отличие в построении автореферата и самой работы. Автореферат построен по защищаемым положениям. А работа построена по главам и в Главах даже нет намека на защищаемые положения. Они все приведены в самом начале и необходимо было определенным образом сконцентрироваться для того, чтобы сопоставить работу, автореферат и защищаемые положения. Это создавало определенную трудность в работе над Отзывом. Ведь можно было бы хотя бы вставить фразу, например, что первое защищаемое положение отвечает материалу Глав 4 и 5 т.д. В этом случае оппоненту было бы работать над диссертацией намного легче.

В главе 1 приводится довольно обширный и детальный литературный обзор имеющихся представлений о составе, строении, этапах формирования и метасоматической модификации субконтинентальной литосферной мантии (СКЛМ) в целом и Сибирского кратона в частности. Автор совершенно справедливо отмечает, что ксенокристаллы граната являются важным поставщиком информации о метасоматических преобразованиях в СКЛМ и показывает, как эти преобразования отражаются в составе граната.

В этой же главе перечислены находки высокотитанистых оксидов в мантийных породах и минералах мантии, в том числе в виде включений в гранате. Здесь справедливым было бы привести ссылку на диссертацию А.Н. Крота. Учитывая редкость находок минералов группы кричтонита в качестве включений в гранате, следовало бы отметить их присутствие в гранатах из глубинных ксенолитов трубки Обнаженная, где они рассматривались в качестве продуктов распада твердого раствора (Т.А. Алифирова, Продукты распада твердых растворов в гранатах и пироксенах (на материале мантийных ксенолитов из кимберлитов), 2015. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук) тем более, что исследования Т.А. Алифириной и Д.И. Резвухина выполнены в одном институте).

В данной главе почему-то отсутствуют литературные данные о включениях сульфидов в гранате! Это достаточно странно, ведь в названии работы прямо

отмечено: гранаты с включениями сульфидов! И здесь мы хотели бы обратить внимание на серию книг по этому вопросу: Гаранин и др., 1983. Первично-магматическая сульфидная минерализация в кимберлитах. Генезис сульфидной минерализации в кимберлитах. А.Н. Крот, В.К. Гаранин, Г.П. Кудрявцева Сульфидные включения в алмазе и его минералах-спутниках. 1989. Материалы этих книг, несомненно, пригодились бы при написании данной работы и могут пригодиться автору данной работы в будущих исследованиях сульфидных минералов из мантийных пород и кимберлитов.

В главе 2 приведена информация о геологическом строении района исследования, кратко обобщены данные о глубинных ксенолитах, минералах тяжелой фракции, алмазоносности, характеристиках алмазов и включений в них из трубки Интернациональная и других тел Мирнинского поля, а также приведены имеющиеся данные о строении, составе и гетерогенности литосферной мантии под Мирнинском полем. Все кратко и обстоятельно.

Глава 3 посвящена описанию подготовки зерен граната к изучению и характеристике использованных в работе методов исследования. Следует отметить, что сделанные в работе выводы базируются на большом объеме оригинальных данных, полученных в результате исследований современными аналитическими методами на высокоточных приборах в ведущих научных центрах мира. **Важный положительный момент – личное участие автора в выполнении большинства из них.**

Главы 4-7 являются ядром диссертационной работы, поскольку именно в них изложены результаты исследований, а именно: минералогическая характеристика и химический состав гранатов и включений, микроэлементный состав гранатов и результаты U-Pb датирования включений рутила. В совокупности с материалом **главы 8**, содержащей обсуждение и интерпретацию полученных результатов, названные главы **являются доказательной базой выдвинутых автором четырех защищаемых положений.**

Перейдем к обоснованию защищаемых положений.

Первое защищаемое положение. В перидотитовых гранатах из трубки Интернациональная установлены включения рутила, обогащенного высокозарядными элементами (до 15,57 мас.% Nb₂O₅), пикроильменита, Fe-Ti-Cr шпинели, минералов группы кричтонита, обогащенных крупноионными литофильными (Ba, Sr), высокозарядными (Zr) и редкоземельными элементами (La, Ce и др.), а также хромита и сульфидов. В эклогитовых гранатах обнаружены включения рутила и пикроильменита. Минеральная ассоциация обогащенных редкими и несовместимыми элементами высокотитанистых оксидов свидетельствует о метасоматическом генезисе вмещающих перидотитовых гранатов.

Здесь может быть, по нашему мнению, одно небольшое замечание. Если и в перидотитовых и эклогитовых граната обнаружены включения рутила и пикроильменита, то можно было бы отметить резкие различия по составу этих минералов. Тем более, что эти различия выявлены, показаны и проинтерпретированы.

Этому защищаемому положению отвечает материал 4 и 5 Глав диссертации. Материал интересный, новый и исключительно информативный. Описаны формы включений, характер их расположений в зернах граната, составы граната и включений. Глава насыщена фотографиями, графиками и таблицами. Много нового и информативного.

Автор отбирал гранаты для исследований из весьма представительной коллекции, насчитывающей более 6000 зерен. По его наблюдениям общее количество зерен с включениями не превышает 5% (**Глава 4, стр. 58**). Неплохо было бы отметить, встречались ли гранаты с силикатными включениями. Если встречались, то каково соотношение гранатов с включениями рудных и силикатных минералов, ассоциировали ли последние с включениями оксидов и сульфидов. Кроме того, хотелось бы знать, наблюдались ли в этой обширной коллекции гранаты, в которых рутил, ильменит и другие оксиды образуют типичные структуры распада твердого раствора. Кстати, в этом отношении работа А.Н. Крота была бы весьма полезна, в ней все это разобрано досконально.

Выявлено, что исследованные включения рутила в 39 гранатах перидотитового парагенезиса характеризуются необычно высокими содержаниями примесей, которые в сумме достигают 27 мас. %. Наиболее характерны содержания Cr_2O_3 (до 9,75 мас.%) и высокозарядные элементы: Nb_2O_5 (до 15,57 мас.%), Ta_2O_5 (до 1,73 мас.%) и ZrO_2 (до 0,76 мас.%). Это все новые результаты. Поскольку в рутиле обнаружены очень высокие содержания хрома (9,75 мас.% Cr_2O_3) и ниобия (до 15,57 мас.% Nb_2O_5), то интересно было бы обсудить механизм вхождения этих элементов в рутил.

Очень интересные находки включений минерала группы кричтонита в гранатах, обогащенного Sr в позиции А и Fe в позиции В. Другие обнаруженные в ходе исследования минеральные виды группы кричтонита представлены лаверингитом и линдслейитом.

Также новая информация получена и по включениям пикроильменита и хромшпинелей. Отмечается, что для включений высокотитанистых оксидов (рутил, минералы группы кричтонита, пикроильменит) в перидотитовых гранатах характерно повышенное содержание Cr_2O_3 , которое положительно коррелирует с хромистостью вмещающего граната.

Также имеется вся информация и по включениям сульфидов, которые представляют собой смеси продуктов распада моносльфидного твердого раствора (MSS), окруженные прерывистой (или непрерывной) каймой из халькопирита. Здесь неясно вот что, типичны ли для мантийных пород сульфиды, обнаруженные в гранатах тр. Интернациональная или это новый результат.

Большинство гранатов с включениями оксидов принадлежат лерцолитовому парагенезису. Есть верлитовые и гарцбургит-дунитовые, но в сильно подчиненном количестве. Определенная часть относится к гранату эклогитового парагенезиса.

Безусловно сделан важный и доказательный вывод, что генезис рутила, минералов группы кричтонита, пикроильменита и хромшпинелей, особенно

экзотической Fe-Ti-Cr шпинели, во включениях в перидотитовом гранате имеют метасоматическое происхождение, что, безусловно, при принятии сингенетичности включений и минерала-хозяина говорит и о метасоматическом генезисе вмещающих перидотитовых гранатов.

Первое защищаемое положение доказано новыми данными, которые несомненно еще предстоит осмыслить более глубоко в свете новых представлений о природе, строении и вещественном составе верхней мантии.

Второе защищаемое положение. Содержание $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 1.7$ мас.% в рутиле свидетельствует о генезисе такого рутила в условиях глубинной кратонной перидотитовой мантии. Результаты U-Pb датирования включений рутила в гранатах из трубки Интернациональная дают возраст 369 ± 10 млн лет, соответствующий возрасту внедрения кимберлитовой магмы трубки Интернациональная. Полученные результаты указывают на то, что высокохромистый рутил является индикаторным минералом глубинных магматических пород, таких как кимберлиты, и может использоваться в алмазопроисловых работах на территории древних кратонов.

По работе Глава 6. Редкоэлементный состав граната идет перед Главой 7, а защищаемое положение, которое касается особенностей редкоэлементного состава гранатов идет наоборот после защищаемого положения, которое касается особенностей состава рутила и датировки возраста трубки по рутилу из включений в гранате (материал главы 7). Мне этот принцип (логика) не понятен. Логично, закончил с включениями, перешел к минералу-хозяину. В этом случае все логично.

Материал ко второму защищаемому положению очень интересный, особенно в плане анализа литературы по составам рутила из различных литологических и геодинамических обстановок с целью выявления различия в содержании Cr. На основе анализа различий в содержании Cr_2O_3 в рутилах из различных породных ассоциаций, был сделан важный вывод о том, что содержание Cr_2O_3 в рутиле выше 1,7 мас.% свидетельствует о принадлежности рутила к кратонной мантии, в то время как рутилы с содержанием Cr_2O_3 ниже 1,7 мас.% могут быть как кратонными, так и внекратонными. И это логично оформилось в часть второго защищаемого положения. Далее очень интересный и

важный материал был получен по U-Pb датировки зерен рутила (возраст 369 ± 10 млн. лет). А это возраст внедрения кимберлитовой магмы трубки Интернациональная. Обратим внимание на микронный размер зерен рутила!

Мне кажется, что вывод Д.И. Резвухина (рабочая гипотеза) вполне логична. Он считает, что за весь период времени, проведенного гранатами в мантии, происходило постоянно переустройство U-Pb системы в рутиле, а полученный возраст соответствует времени внедрения кимберлитовой магмы, захватившей гранаты, как прямое следствие охлаждения и падения температуры ниже температуры закрытия для диффузии Pb в рутиле. И эта часть второго защищаемого положения принимается. Ну и, конечно, можно использовать эти новые возможности в качестве одного из инструментов алмазопроисковок работ на территории древних кратонов.

Второе защищаемое положение принимается.

Перейдем к третьему защищаемому положению. Гранаты преимущественно лерцолитового парагенезиса с включениями высокотитанистых оксидов характеризуются только дугообразным (нормальным) распределением РЗЭ. Гранаты с включениями сульфидов относятся к лерцолитовому и гарцбургит- дунитовому парагенезисам и имеют как дугообразные, так и синусоидальные спектры РЗЭ. По данным Ni-термометрии, гранаты с включениями оксидов имеют пик распределения по температуре равновесия на отметке 800°C (120 км), а гранаты с включениями сульфидов – на отметке 950°C (165 км). Полученные данные свидетельствуют о вертикальной гетерогенности процессов мантийного метасоматического обогащения в разрезе литосферной мантии под трубкой Интернациональная.

Из всего добротного материала по геохимическим особенностям граната с включениями оксидов и сульфидов: содержание Ca, Sr и тип парагенезиса различно, в целом оксидные минералы характерны для гранатов лерцолитового парагенезиса, а треть гранатов с сульфидными включениями – к дунит-гарцбургитовому; геохимические спектры разные и степень деплетированности; температуры равновесия. Гранаты с включениями сульфидов с средним являются на 150°C более высокотемпературными, чем гранаты с включениями оксидов, отсюда делается вполне определенный вывод, что гранаты с включениями

оксидов и сульфидов вынесены с различных глубин СКЛМ под трубкой Интернациональная, что обуславливает различия в химическом составе и типе включений. Но, исходя из ранее проведенных исследований включений оксидных минералов и сульфидов в гранатах, оливинах и цирконах, мы имеем случаи сростков сульфидных нодулей, например, с хромитами (А.Н. Крот, В.К. Гаранин, Г.П. Кудрявцева Сульфидные включения в алмазе и его минералах-спутниках. 1989). И что в этом случае нам ожидать?

По этой причине этот результат мы можем принять, а вот к третьему защищаемому положению у нас есть определенные замечания. Тем более, что последняя фраза к нему «Полученные данные свидетельствуют о вертикальной гетерогенности процессов мантийного метасоматического обогащения в разрезе литосферной мантии под трубкой Интернациональная» требует уточнений и новых дополнительных исследований. Это предмет будущих исследований Д.И. Резвухина. Надеемся, что он продолжит и дальше работать над материалом по гранатам с включениями как для трубки Интернациональная, так и для граната из других трубок Мирниского района, да и не только этого района.

И, наконец, последнее четвертое защищаемое положение. Негомогенные гранаты из трубки Интернациональная характеризуются увеличением содержания Са, Ti, Fe и редких элементов в краевой зоне, которая образована в результате замещения исходного граната в ходе метасоматического события, произошедшего незадолго (<15000 лет) до внедрения кимберлитовой магмы трубки Интернациональная.

Четыре образца имеют относительно гомогенное ядро и неоднородную внешнюю кайму; пятый образец (INT-70) характеризуется также зонами контрастного состава, проходящими через зерно. Все зональные гранаты содержат таблитчатые включения шпинелидов размером до 100 мкм; в образцах INT-70, -289, -263 наблюдаются включения хромита, а в образцах -241 и -269 обнаружены включения необычного Fe-Ti-Cr шпинелида, которые приурочены только к внешней зоне вмещающего граната. Значит всего пять зерен граната.

Конечно, все эти зерна граната и включения в них были досконально изучены. **Это все достижения Дмитрия Ивановича.** Наличие ярко-выраженной зональности в гранатах, характеризующихся гомогенным ядром и неоднородной внешней каймой, обогащение каймы негомогенных гранатов Ca, Ti, Fe и редкими элементами, наличие в краевой зоне включений необычного Fe-Ti-Cr шпинелида и S-образные профили концентраций элементов от центра к краю, позволили Д.И. Резвухину утверждать, что кайма образована в результате замещения исходного граната при взаимодействии с метасоматическим агентом за 15000 лет до внедрения кимберлитовой магмы Интернациональная. У меня здесь вопрос сразу возник: до внедрения куда? Но главное мое здесь замечание, почему к этому материалу автор работы не привлек данные по зональным гранатам в трубках Мирнинского поля с включениями. Они досконально описаны в известной монографии Н.В. Соболева, в статьях А.Д. Харькива, в нашей более поздней книге «Включения в алмазе и алмазоносные породы». И это не 6 образцов граната, а гораздо больше. Из этих работ также вытекал вывод о их происхождении или непосредственно до внедрения в земную кору, или из ранних порций кимберлитового расплава.

Вот здесь я еще раз обращаю внимание на то, что, к сожалению, Д.И. Резвухин не обратил должного внимания на целый ряд интересных работ, выполненных до него по той проблеме, которую он решал в своей работе.

Все замечания ни сколько не снижают наше отношение к данной работе. Это очень серьезное, глубокое исследование. Очень широко и по новому раскрываются сложные вопросы метасоматических преобразований в глубинах мантии. Несомненно, есть дискуссионные места, спорные вопросы. Это очень хорошо, значит, есть над чем работать дальше. А направление выбрано очень удачное и с большой перспективой получения в ближайшем будущем новых результатов. И мне это очень импонирует, т.к. мы начинали в этом направлении работать в 80-е годы и спустя 25 лет мы видим, что не зря мы это начинали.

Можно уверенно констатировать, что проделана большая научная работа. Резвухин Дмитрий Иванович показал себя тонким грамотным и профессиональным исследователем.

Апробация работы вполне отвечает всем требованиям ВАК,а. Все задачи логично сформулированы, четкие и отражают существо работы. Диссертация полностью соответствует разделу 4 паспорта научной специальности 25.00.05.

Таким образом, в целом, работу Д.И. Резвухина можно признать весьма актуальной, новой, имеющей большое научное значение и практическую значимость. Диссертация Д.И. Резвухина соответствует всем требованиям ВАК,а, предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Достаточный список опубликованных работ, в том числе и в реферируемых научных журналах. Автореферат полностью отражает суть представленной работы. Работа написана ясным и понятным русским языком.

Автор данной работы, Дмитрий Иванович Резвухин, вполне сложившийся специалист в области минералогии и геохимии мантии и, несомненно, заслуживает присвоения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография.

Научный руководитель Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана,
Лауреат Премии Правительства в области науки и техники,
Лауреат Премии им. А.Е. Ферсмана РАН, профессор, доктор геол.-мин. наук



Виктор Константинович Гаранин

Отзыв утвержден на Заседании Ученого Совета Минмузея 19.01.2014г.

Ученый секретарь Совета, кандидат геол.-мин. наук Е.Н. Матвиенко

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ им. А.Е.ФЕРСМАНА Российской академии наук
Ленинский пр-т, дом 18, корпус 2, Москва, 119071
Телефон (495) 952-00-67; факс (495) 952-48-50. E-mail: mineral@fmm.ru; vgaranin@mail.ru

