

**ОТЗЫВ официального оппонента на диссертацию на соискание
ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
Зубова Александра Анатольевича
на тему: «Минералогия расплавных импактитов Карской астроблемы» по
специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография, геохимия,
геохимические методы поисков полезных ископаемых»**

Ударно-взрывные события даже больших масштабов, подобные Карскому, являются весьма кратковременными процессами, протекающими в течение минут, тогда как образование самого кратера может быть растянуто на дни, недели и даже месяцы – формирование самой геологической структуры кратера, пластовых и жильных тел и т.д. и простирается на 10 000 – 100 000 лет в результате постимпактной гидротермальной активности. В связи с этим импактиты (в широком смысле этого слова – породы ударно-взрывных кратеров) являются весьма сложными объектами, формирование которых происходило в широком диапазоне давлений и температур - от первых сотен ГПа и тысяч градусов до практически нормальных P и T.

Одной из заслуг автора является детальная реконструкция формирования расплавных импактитов на основе тщательного рассмотрения их минералогии, петрографии и химии минералов. Этот процесс в общем достаточно слабо изучен и несет важную информацию об условиях их образования и истории, в связи с чем данная работа является весьма актуальной для понимания геологических процессов в кратерах.

Выводы, сформулированные в настоящей работе, вполне обоснованы и достаточно аргументированы. Их достоверность проверена возможными тщательным анализом и сравнениями с современными данными по аналогичным объектам, Новые полученные данные неоднократно обсуждались на конференциях и были опубликованы в рецензируемых научных журналах соискателем. В работе использованы самые передовые методы исследования и такие методики, как

рамановская спектроскопия, дифракция обратно-рассеянных электронов, рентгеновская вычислительная микротомография и масс-спектрометрия индуктивно связанной плазмы. Вместе с тем автор уместно использует и классические методы, такие как оптическая и аналитическая сканирующая электронная микроскопия, рентгеновская дифрактометрия и ИК-спектрометрия. Защищаемая работа богато иллюстрирована, что дает полное представление об изучаемых объектах.

Новизну работы характеризуют впервые полученные результаты такие как детальная минералогическая характеристика расплавных импактитов, определение степени их кристалличности дифрактометрическим методом, данные по кремнеземистым стеклам плавления и диаплектовым кварцевым стеклам с установлением различий в их структуре, установлена последовательность образования фаз в трех типах расплавных импактитов. Интересным является смелое предположение об импактном (а не пост-импактном) образовании смектита, требующее крайне высоких давлений H_2O . Автор отзыва отмечает также весьма интересную находку новообразованных цирконов, что с использованием таких методов как SIMS и nanoSIMS позволяет получить независимую от Ar-Ar метода датировку Карского события, имеющую важное значение как для выяснения эволюции биоты в это время, так и для потока на Землю крупных тел астероидального размера.

Автором диссертации получен внушительный объем аналитических данных. На основе последних литературных данных и собственных наблюдений дана хорошая геологическая характеристика Карского кратера, являющаяся необходимой базой для проведенных исследований. Список цитируемых работ включает в себя 332 наименования, в том числе как классические, так и недавно вышедшие.

Таким образом, результаты этих исследований вносят существенный вклад в понимание процессов образования типов расплавных импактитов. Однако к работе

есть некоторые замечания и вопросы, в основном касающиеся терминологии, ошибок, замечаний и досадных опечаток. Для удобства чтения текст оппонента выделен курсивом.

Стр. 3. «**Диалектовое стекло** – изотропное вещество,..... Отличается от ударного стекла коэффициентом двупреломления.» *Конечно показателем преломления*

Стр. 3. «**Импактит** – разновидность импактной горной породы, полностью или частично (>10%) состоящей из закаленных либо в разной степени раскристаллизованных продуктов охлаждения импактных расплавов.....»
Представляется, что к импактитам более логично относить все породы, возникшие в ходе кратерообразования, в том числе и аллогенные и аутигенные брекчи. Примером служит Карлинский кратер, где расплавные породы отсутствуют, равно как и другие кратеры без расплавных пород, однако присутствуют разнообразные импактные брекчи.

Стр. 4. «**Силикатный расплав** – в данной работе под силикатным расплавом понимается расплав SiO₂. **Силикатное стекло** – в данной работе под силикатным стеклом понимается стекло SiO₂ состава.» *Обычно к силикатным стеклам относят стекла, содержащие SiO₂, который служит каркасообразителем, а также разнообразные катионы. Лучше использовать термин «кварцевое стекло» если оно образовалось по кварцу или «стекло по SiO₂»*

Стр. 12 -13. «С учетом этого обстоятельства закрепившийся в литературе термин «ударный метаморфизм» представляется неудачным и его следовало бы заменить на термин «импактитогенез...». *Импактитогенез – это процесс, в результате которого образуются импактиты; ударный метаморфизм – преобразование пород под действием ударной волны. Могут быть выделены*

степени или ступени ударного метаморфизма для определенных интервалов давлений в УВ. Конкретный импактит может содержать минералы и породы разной степени ударного метаморфизма. Поэтому дезавуирование термина ударный метаморфизм представляется неудачным.

Стр. 13. «Достаточно крупные космические тела, достигая поверхности нашей планеты с высокими скоростями, частично или полностью сохраняют первоначальную скорость, при столкновении с породами мишени достигающей 1-5 км/с.» *Скорость падения тел от 100 метров и выше лежит в диапазоне 10 – 70 км/с*

Стр. 24. «...а также особую разновидность представляют стёкла, формирующиеся при импактитогенезе, включая конденсатные стёкла...». *Убедительных доказательств существования конденсатных стекол нет, наоборот подчас стекла – особенно лунные – демонстрируют обедненность летучими элементами, что свидетельствует о процессе испарения.*

стр. 58. *Для количественного анализа было бы необходимо привести условия съемки – ускоряющее напряжение, какие стандарты использовались*

стр 60. «2 – Материал образца объёмом 1 чайная ложка помещается в стакан...». *Лучше использовать объем в см³ - надеюсь, что чайная ложка не применялась при пробоподготовке.*

стр. 67. *В тексте присутствует ссылка на Рис. 4.5Г. Наверное это Рис. 4.5В?*

стр. 71 «...по данным локальных микрозондовых анализов...». *Принято, что к микрозондовым анализам относят составы, полученные с помощью*

кристаллических спектрометров (WDS – волновая дисперсионная спектрометрия) в отличие от энергодисперсионных спектрометров (ЭДС или EDS).

стр. 81 Табл. 4.5 . Содержания Ir и Pt достигают аномально высоких значений по сравнению с среднекоровыми содержаниями, например по Ir - 0,007 г/т или 7 ppb и ~0.4 г/т (Pt, 0.4 ppm). В тексте это не обсуждается и возникает вопрос, связано ли это с ошибкой определения или это реальные значения.

Стр.85. «Присутствие в образцах смектитовых минералов, ... можно отнести как к гидротермальным или вторичным образованиям (продуктам выветривания импактитов), так и к первично образовавшемуся из существенно обводненного ударного расплава. Последнее следует из характерного нахождения смектитов в карских расплавных импактитах...». В тексте не объясняется, что такое «характерное нахождение смектитов» и почему они сингенетичны расплавным породам. Приведенное изображение на Рис 4.13 скорее демонстрирует фронт замещения. Как известно, вода обладает большой подвижностью и может проникать сквозь незаметные поры или трещины. Приводятся ссылки на работы по синтезу смектита из водонасыщенных расплавов, однако условия экспериментов не приводятся – время выдержки и закалки, давление H₂O.

Стр. 86. «...силикатных обособлений (капель) со скоплениями монокристаллического коэсита в ядре капли (рис. 4.13)». На Рис. 4.13 приведены BSE изображения выделений светлой фазы в стекле, однако никаких дополнительных данных (т.н. рамановские спектры) не приводятся. То же относится и к Рис 5.30. На Рис 5.33 спектры приведены.

Стр.98. Рис. 5.1. Непонятно к каким 3-м типам жильных пород относятся приведенные дифрактограммы, приходится догадываться, исходя из текста

Стр. 101 – что такое оранжевая линия на Рис. 5.2.

Стр. 140. Раздел 5.5. Особенности силикатной компоненты

Раздел очень интересный и детально разбирает структуры и минералогию кварцевых стекол. Единственным общим недостатком является достаточно слабое обсуждение происхождения этих структур и, в частности, механизм образования зерен коэсита, развивающегося по стеклу плавления. В принципе коэсит не такая уж высокоплотная фаза, область его стабильности по давлению простирается до 8 -10 ГПа, выше которой он переходит в стишовит, а последний в районе 50 ГПа переходит в другую фазу со структурой CaCl_2 . Таким образом, существует некий парадокс – стекла плавления, подвергнутые давлению выше 40 - 50 ГПа, не содержат ни стишовита, ни фазы кремнезема со структурой CaCl_2 , а лишь относительно низкобарный коэсит. Диссертант никак не объясняет это.

Приведенные замечания ни в коем случае не умаляют значимости исследования. Автор отзыва надеется, что в дальнейшем они будут все учтены и будут являться базой для дальнейшей работы. Я приветствую появление нового исследователя в такой интересной области, как изучение ударно-взрывных кратеров и надеюсь, что диссертант и в дальнейшем продолжит свою работу, не ограничиваясь только Карским кратером.

Диссертация отвечает требованиям, установленным диссертационным советом 24.1.053.01 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН а к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.4. – «Минералогия, кристаллография, геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» (по геолого-минералогическим наукам).

