

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Михно Анастасии Олеговны «Особенности минералогии и флюидного режима образования карбонатно-силикатных пород Кокчетавского массива», представленную на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография.

Диссертационная работа Михно А.О. представляет законченное исследование, посвященное детальному изучению минералогии уникального объекта – алмазоносных карбонатно-силикатных пород Кокчетавского пояса. Несомненным достоинством работы являются тщательные и разносторонние исследования и большой объем выполненной работы – 70 препаратов с исследованием флюидных и расплавных включений, 60 термометрических и криометрических опытов, 3000 (!) микрозондовых анализов и анализов на сканирующем электронном микроскопе, 200 изображений в отраженных электронах, 150 индивидуальных КР-спектров породообразующих минералов и 20 КР-карт фазовых соотношений.

Работа апробирована на международных и российских минералогических конференциях – на 3 международных конференциях по флюидным включениям (ACROFI III, IV, ECROFI XXI), на международной и двух российских конференциях по Термобарогеохимии, X Конференции Георамаи (Франция), а также на 9,10,11 Международных Эклогитовых Конференциях геолого-петрографического характера.

Диссертационная работа Михно А.О. объемом 134 страницы состоит из 5 глав и списка литературы из 161 наименования. Введение, Главы 1 и 2 представляют вводную часть, главы 3 и 4 – основное содержание исследований и фактический материал, глава 5 и Заключение – анализ материала, реконструкция условий образования и выводы. В списке литературы 76% - на английском языке, в числе соавторов статей и тезисов – 4 соавтора-иностранца, что свидетельствует о заметном участии А.О. Михно в международной кооперации.

Работа написана четко, лаконично, хорошо скомпонована, рисунки и фотографии хорошего качества. Но, к сожалению, в тексте, а также в надписях к рисункам, иногда в самих рисунках много досадных неточностей и упущений, что несколько снижает хорошие впечатления о работе. Второстепенные замечания и неточности отмечены в тексте и подписях, наиболее существенные приведены ниже в отзыве.

В вводной части сформулирована научная новизна, практическая значимость и основные защищаемые положения. Подведены итоги изучения Кокчетавского метаморфического пояса, которые в целом достаточно полно и правильно отражают текущее положение и проблемы дальнейшего изучения минералогии и петрологии пояса. К числу досадных упущений этой части работы можно отметить, что проблема эксгумации (выведения на поверхность глубинных метаморфических пород) четко не сформулирована как сложная геологическая и петрологическая проблема и внезапно появляется в тексте на стр.12 при описании геологического строения Кумды-Кольского месторождения алмазов. И, далее неоднократно упоминается в тексте без четкой формулировки сути проблемы и путей ее решения. Хотелось бы добавить также, что разнообразие состава и РТ-условий формирования пяти названных диссертантом террейнов и есть главное доказательство «модели мегамеланжа» (или пакета тектонических пластин, выведенных при эксгумации из зоны субдукции), а не только отмеченные автором тектонические контакты пород разного состава, наблюдаемые в штольне и скважине. Здесь же впервые упоминается о «второй критической точке» (стр. 18), но ни здесь, ни при дальнейших упоминаниях не поясняется, что это за точка и какое значение она имеет для метаморфических пород Кокчетавского пояса. В табл. 1 (стр.19) обе колонки по ссылке [3] названы «мрамор», хотя вторая - это явно андезитовая порода или гнейс. Нужно было указать места отбора образцов. Главное пожелание – это завершить главу и раздел 1.4 кратким резюме, что осталось нерешенным и надо еще исследовать.

Глава 2 «Методы исследования» очень лаконична (всего 4 страницы и 1 рисунок). Желательно добавить сюда сравнение результатов определения валового состава включений по 1 и 2 методу, в частности из приведенных ниже табл. 4. видно, что дисперсии определений по второму методу заметно выше для SiO_2 , TiO_2 и CaO и ниже для MgO , Na_2O и K_2O . Полезно привести особенности применения метода комбинационного рассеяния (КР) – основного метода в данной работе, в частности перенести сюда табл. 4.2 и дать краткие комментарии.

Главы 3 и 4, как уже было отмечено, включают основные результаты измерений и экспериментов, проведенных автором, в том числе 14 таблиц и большое количество рисунков. Из них в главе 3 приведено 10 фото образцов, 20 фото шлифов, 12 фото в обратно-рассеянных электронах, 2 КР-карты, 6 диаграмм и один детальный профиль составов. Поэтому эту главу следовало назвать «Петрографо-минералогическое

исследование образцов». При большом объеме и качестве исследований в этой главе есть досадные упущения, например, в табл. 3.3 приведено 60 анализов (в тексте 30); указано, что это анализы по профилю 5.1, но на этом профиле точек нет, а они есть на рис. 3.14, и там лишь 14 точек, и они повторены в табл. 5.1 с четырьмя вариантами расчета T и P. По какому варианту рассчитаны T и P в таблице 3.1 не указано, в каких точках сделаны остальные 44 анализа – тоже не указано. Максимальные вариации K₂O в таблице 3.1. не прокомментированы.

На рис. 3.2 и 3.4 показано линзование (блочность) или зональность, которые важны при обсуждении степени плавления. Упоминается Приложение 3.6. (стр. 57), которого нет. Соотношение Si и Ti в фенгитах (Ca и Mg в кальцитах) не прокомментированы.

Глава 4 о включениях, пожалуй, является лучшей в работе. Здесь приведены удивительные 7 фото включений и 6 фото КР-карт с КР-спектрами. Единственное замечание – это рис. 4.10 – на нем ничего не видно и выводы неоднозначные. Большое значение имеют оценки расплавов, реконструированные разными методами в полифазных включениях (табл. 4.3. и 4.4), причем в табл. 4.4 они приведены для 5 образцов с составами клинопироксенов-включений. Но графики корреляций почему-то не построены и соответствующие выводы не сделаны. Важен также термометрический эксперимент по плавлению и гомогенизации вещества полифазных включений в образце Let 1 и при температуре до 1100 °C, который является прямым доказательством расплавно-го происхождения полифазных включений и приведен впервые в мировой практике. В табл. 4.5. дан усредненный состав включений до и после эксперимента, из которого видно, что за счет реакции с клинопироксеном изменилось содержание Al₂O₃, Na₂O, K₂O, появился хлор (Cl), уменьшилось содержание MgO и CaO (до 6.6 вместо 11.5). Обсуждение карбонатитовых включений в мраморе обр. А8 содержит неясности, почему в большинстве включений преобладает кальцит, но в единичных включениях – только калиевый полевой шпат и кристобалит. Непонятна ссылка на отличие от состава первичных карбонатитовых включений в табл. 1.1, которой нет.

На основании анализа материалов, приведенных в главах 3 и 4, в главе 5 выполнены реконструкции и обоснованы защищаемые положения. Рассмотрены 5 вопросов: 5.1. Реконструкция РТ-трендов эволюции карбонатно-силикатных пород, 5.2. Анализ моделей образования калиевого клинопироксена, 5.3. Уточнение поля стабильности высокобарических фаз – майджоритового компонента в гранатах,

калиевого кимрита, кокчетавита и ламеллей в клинопироксене 5.4. Реконструкция агрегатного состояния минералообразующих сред на пике метаморфизма.

В разделе 1 автором построены системы из двух уравнений для определения P и T условий с использованием уравнения и барометра кристаллизации K - Srx , предложенного в работе Сафонова с соавторами (2005) и уравнения-термометра Fe - Mg распределения между гранатом и клинопироксеном (Ravna, 2000) и с помощью этой системы определено изменение P и T условий в профиле клинопироксена с прогрессивной зональностью (рис. 5.1) от 970 - 990 °C и $P = 5.5$ ГПа в центре зерна до 1100 °C и $P = 7$ - 7.3 ГПа на краях зерна.

Оценки температуры и давления по построенному термометру-барометру были приведены для трех разных составов расплава 1, 2, KH (Korsakov & Hermann, 2006) и H (Hwang et al., 2005). Использован, также для сравнения гранат-фенгитовый барометр (Ravna & Terry, 2004).

В результате были получены 4 оценки для каждой из 12 точек профиля зерна с прогрессивной зональностью по K_2O , приведенные в табл. 5.1 и две оценки в табл. 5.3; повторим, что в табл. 3.3 приведены оценки только при 1 составе расплава. Отметим, что оценки $T(1)$ и $P(1)$ выше, чем $T(2)$ и $P(2)$ во всех точках в табл. 5.1, особенно заметно для центральных точек (7-9) – на 60 °C и 1.3 ГПа выше $T(1)$ и $P(1)$, чем $T(2)$ и $P(2)$. Независимая оценка в табл. 5.2 для обр. $K98-4$, содержащего Srx с низким содержанием K_2O ($0.13 - 0.20$) показала, что, во-первых, оценка по S (Сафонов и др., 2005) и R (Ravna, 2000) показывает несоответствие T и P – при минимальной $T = 1052 - 1053$ °C, давление почему-то ниже $P = 4.3 - 4.6$ ГПа. Из этого следует, что точность комбинированного термобарометра хуже, чем предложенного диссертантом ± 30 - 50 °C и ± 0.91 ГПа; во-вторых, непонятно, почему выбраны максимальные оценки по варианту 1, а не 2 (в табл. 5.1 максимальная оценка по варианту 2 в точках 3 и 11 $T = 972$ °C и $P = 5.4 - 5.8$ ГПа, что ближе к оценкам предыдущих авторов).

В разделе 5.2 приведен анализ моделей образования калиевого клинопироксена. Из двух возможных вариантов, модель кристаллизации из расплава с переменной активностью калия отвергнута, т.к. отсутствует закономерность в изменении состава полифазных включений от центра кристалла к периферии, что свидетельствует об относительно постоянной активности калия в расплаве. По мнению рецензента – это явная ошибка диссертанта. Во-первых, распределение полифазных включений в

порфиробласте клинопироксена приведено на рис. 4.10 для обр. K98-4, где K_2O в Срх низкое и мало варьирует (0.13 - 0.2 %), здесь расплав мог быть относительно постоянным.

Во-вторых, из табл. 4.4 следует четкая линейная корреляция K_2O в реконструированных расплавах и измеренная в клинопироксенах. В обр. K98-4 в табл. 4.4 для клинопироксена приведено $K_2O = 0.84$, а в табл. 5.2. $K_2O = 0.2$ (и ниже): При содержании $K_2O = 0.2$ в Срх расплав должен содержать только 5 % K_2O , а в образце с прогрессивной зональностью по K_2O изменяется от центра к краю от 0.3 до 0.64 K_2O соответствует (согласно графику, построенному по данным в табл. 4.4) содержанию в расплаве $K_2O = 6.5 - 8$ %. При max K_2O в Срх как в образце Gak150 в расплаве содержится 11.5 % K_2O .

Таким образом, изменение K_2O в клинопироксене в 2.5 раза изменяет содержание K_2O в расплаве в 6 раз (!), а прогрессивная зональность отражается в вариациях K_2O на 20-25 % (отн.) Оба фактора влияют: и колебание содержания K_2O в расплаве и вариации Р-Т условий. Это следует из данных самого диссертанта, приведенных в табл. 4.4 и 5.1. - 5.2. Единственное исключение – обр. А8. Но это мрамор, здесь установлен карбонатитовый расплав и отсутствует силикатный расплав.

Вопрос изменения K_2O в расплаве обсуждается в разделе 5.4. Можно согласиться с выводом диссертантки (стр.113 и др.), что находки флюидных включений и включений силикатного и карбонатитового состава в одной ростовой зоне клинопироксена доказывают сосуществование здесь флюида, силикатного и карбонатитового расплава (\pm сульфидный расплав, как обосновывается в этом разделе). Различия же в концентрации калия в расплавах (и клинопироксенах, равновесных с ними) диссертант объясняет «несколькими этапами плавления метапелитов, сегрегации и миграции расплава в карбонатные прослой» в соответствии с работой (Stepanov et al., 2014). Различный вклад карбонатной составляющей и гранитного расплава в процесс формирования разных типов карбонатно-силикатных пород (стр.119) можно объяснить миграцией расплава извне из метапелитов, а можно и разной долей расплава «in situ», т.е. вариациями глинистой (мергелистой) составляющей в исходных породах. Поскольку расплавы с разным содержанием K_2O почти полностью удалены, решить эту альтернативу трудно. Возможно найти решение путем сравнения со слабо метаморфизованными аналогами, что можно пожелать на будущее.

Раздел 5.3, где обсуждаются поля стабильности высокобарических фаз в условиях пика метаморфизма (майджоритового граната, кокчетавита, калиевого кимрита) – один из лучших в работе и особых замечаний не вызывает.

Можно лишь пожелать на будущее, чтобы различия в регрессивных кривых на рис. 5.2, наличие второй критической точки на рис. 5.4. и ее значение для изучения пород (о чем уже упоминалось), значение устойчивости ортопироксена и отсутствие гиперстена в изученных породах на регрессивной стадии, соответствующей гранулитовой фации - все эти вопросы обсуждались более подробно, либо сознательно (с оговоркой) исключались из обсуждения.

В «Заключении» приведено 5 положений (а защищаемых положений 3!). Первый вывод в заключении совпадает с первым защищаемым положением, но сформулирован лучше, поскольку содержит добавление: калиевый пироксен с прогрессивной зональностью позволяет «исключить гипотезу мантийного образования карбонатно-силикатных пород». Вывод 4 и 5 близки к второму и третьему защищаемому положениям, а вывод 2 и 3 в заключении может даже расширить защищаемые положения: (2) кристаллизация минералов происходила в присутствии силикатного и карбонатитового расплава и преимущественно водного флюида; (3) находка реликтов калиевого кимрита ($KAlSi_3O_8 \cdot H_2O$) – первые находки в природе фазы высокого давления, обнаруженного ранее лишь в экспериментах, и могут свидетельствовать об очень высоких скоростях эксгумации (как и некоторые другие факты, не обсуждаемые в работе, например, данные об изотопии кислорода).

В целом рецензент считает, что все защищаемые положения хорошо обоснованы и даже могут быть расширены (как это сделано в заключении работы и может быть сделано в заключении Дис. Совета). Работа выполнена на хорошем современном уровне, с международной кооперацией, с отличной апробацией и очень хорошими публикациями. Все защищаемые положения можно квалифицировать как научные достижения, развивающие направления высокобарического метаморфизма.

Высказанные замечания носят характер пожеланий, которые необходимо учесть в будущих публикациях и исследованиях и не умаляет высокой оценки объема и уровня проделанной работы. Работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография. Автореферат

соответствует содержанию диссертации. Автор работы, Михно Анастасия Олеговна, является сложившимся специалистом в области метаморфизма сверхвысоких давлений и заслуживает присуждения степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография.

Научный советник при дирекции Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, Академик РАН,

Доктор геолого-минералогических наук

Добрецов Николай Леонтьевич

14 сентября 2015 г.

пр. Ак. Коптюга 3, г. Новосибирск, 630090

телефон 8 (383) 3308981

e-mail: DobretsovNL@ipgg.sbras.ru

