УТВЕРЖДАЮ
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
«Институт геохимии им. А.П. Виноградова»
Сибирского отделения Российской
академии наук (ИГХ СО РАН)
д.г.-м.н. А.Б. Перепелов
22 октября 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт геохимии им. А.П. Виноградова» Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН) на диссертационную работу Кузнецова Григория Владимировича «Динамика метасоматического преобразования пород литосферной мантии под вулканами Авачинско–Корякской группы (Камчатка)», представленную на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Рецензируемая диссертационная работа Г.В. Кузнецова состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 135 наименований. Общий объем работы составляет 117 машинописных страниц текста, включая 103 рисунка и 13 таблиц. Диссертация содержит 14 Приложений объемом 45 страниц.

Изучение процессов метасоматоза литосферной мантии в нависающем мантийном клине над зонами субдукции является важнейшим направлением исследований конвергентных границ литосферных плит, которое разрабатывается уже более сорока лет. Прогресс в этой области отчасти тормозится тем, что лишь немногие островодужные вулканы несут в своих лавах и пирокластике включения ультраосновных пород, которые могли бы претендовать на роль представителей метасоматизированной надсубдукционной мантии. К числу этих немногих вулканов может быть отнесен Авачинский вулкан. Это и определяет актуальность комплексного исследования представительной коллекции ультраосновных включений из пород вулкана, выполненного Г.В. Кузнецовым, что позволило приблизиться к решению задачи динамики развития фронтальной метасоматической зональности, с которой сопряжены процессы верлитизации ультрабазитов мантийного клина над магматическими очагами базитовых расплавов под фронтальными зонами эпиконтинентальных вулканических дуг.

Цель рецензируемой работы – объяснить вещественные и структурно-минералогические особенности ультрабазитовых ксенолитов, оценить физико-химические условия проявления флюидного инфильтрационного метасоматоза и численно исследовать модель развития метасоматоза ультраосновных пород литосферной мантии под Авачинским вулканом.

В связи с этим соискателем решались следующие **задачи**:

1) оценка геологических и тектонофизических условий развития метасоматоза и частичного конвективного плавления в верхнемантийном протолите под Авачинским вулканом (Камчатка),

2) исследование текстур и структур ксенолитов, определение химического состава первичных и вторичных минералов, расплавных включений и интерстиционных стекол,

3) оценка составов и P-T характеристик флюидов путём изучения включений в минералах всех установленных процессов преобразования исходных гарцбургитовых пород,

4) численное моделирование процессов минералообразования для диапазона T =1000-1300°C и глубин 50-120км, при котором могли протекать процессы инфильтрационного флюидного метасоматоза в породах литосферной мантии над возможными магматическими источниками флюидов,

5) проверка результатов численного моделирования на основе постановки физических экспериментов, имитирующих воздействие восстановленных потоков горячих газов на реальные ультрабазиты. Также отделение летучих компонентов из расплава, образующихся при полном плавлении исследованных пород в вакуумной камере с использованием в качестве нагревателя пучка электронов высокой плотности.

В первой главе диссертационной работы дается краткий, но вполне достаточный очерк методов, использованных в работе. В нем приводится анализ структурной и тектонофизической обстановки развития вулканизма Камчатки, описаны экспериментальные исследования частичных выплавок ультрабазитов путём нагревания породы потоком восстановленных газов. Представлены основные методы определения химических составов минералов, стёкол и расплавных включений, и температур гомогенизации расплавных включений. Описание численного моделирования динамики инфильтрационного метасоматоза пород литосферной мантии под Авачинским вулканом дает полное представление о возможностях использованного метода.

Вторая глава позволяет получить ясное преставление о степени изученности геолого-геофизических характеристик и достоверности структурного анализа района вулканов Авачинско–Корякской группы. Выявлено, что наземные вулканические группы Авачинско-Корякского вулканического хребта сопряжены с субмаринными линейными и дуговыми вулканическими хребтами.

Обобщение геолого-геохимической и геофизической информации было использовано для численного решения задач динамики метасоматоза. На его основе построена односкоростная гидродинамическая модель тепло-массообмена, которая использована в качестве неизотермической модели инфильтрационного метасоматоза.

Отметим одно из самых важных достоинств данного раздела. Определен возраст основных магматических событий, с которыми связан процесс флюидного воздействия на ультрабазитовые породы литосферной мантии. Параметр возраста исключительно редко используется в термодинамических моделях. Это является важным дополнением к обоснованию третьего защищаемого положения.

Часть информации дана в инструктивной форме и может быть использована, как методическое пособие по пробоподготовке образцов, экспериментальным исследованиям и первичной обработки полученных данных.

В третьей главе рассмотрены структура, а также степень метасоматической измененности гарцбургитов и состав минералов. В результате комплексного изучения коллекции ксенолитов Авачинского вулкана соискателем подтверждена установленная ранее (Ishimaru et al., 2007-2011) последовательность смены минеральных ассоциаций: (Ol-I ± Spl-I) → (Opx-II ± Spl-II - метасоматоз) → (Cpx ±Amph, Spl-II, стекло) → (Ol-II ± Cpx, стекло) → (Amph ± Ol-II, Cpx, Pl, Mgt, стекло – образование оторочек) → эксплозия, где I и II – первичные и метасоматически образованные оливин и ортопироксен. В некоторых случаях такая последовательность заканчивается процессом частичного плавления, что отражается в наличии незональных стекловатых прожилков с кристаллами шпинели, имеющих первичные расплавные, газовые и комбинированные включения.

В четвертой главе представлены результаты исследования состава расплавных включений и интерстиционных стёкол в минералах ультрабазитовых ксенолитов. Определение состава газовой фазы во флюидных включениях минералов позволят соискателю обосновать ряд нетривиальных выводов.

Действительно, исследованные ксенолиты представляют собой продукты многостадийного метасоматического преобразования в зоне глубинного разлома пород деплетированной литосферы. Убедительно доказано, что состав потоков магматических флюидов изменяется на заключительной стадии от восстановленных к более окисленным. На первой стадии воздействуют восстановленные флюиды, не содержавшие достаточные концентрации SiO_2. Затем происходит переплавление метасоматизированных гарцбургитов с привносом Al, Ca, Na, Cr, приводящее к образованию локальных участков пироксенитов и формированию метасоматических прожилков и гнёзд вторичного Opx-II.

В пятой главе соискатель совершенно справедливо отмечает, что проблема метасоматического преобразования пород литосферной мантии давно привлекает внимание исследователей самых различных направлений. Поэтому, несмотря на то, что использовался, в общем-то сходный фактический материал, сформировалось несколько различных гипотез о происхождении этих пород и природе физико-химических процессов

им управляющих. Попытка решить дискуссионный вопрос о факторах, контролирующих инфильтрационный метасоматоз в литосферной мантии делает это исследование актуальным.

Выбор объекта исследований, строго ограниченного пространством и временем, позволяет Григорию Владимировичу сформулировать цели и задачи исследования таким образом, что в результате становятся очевидным возможность сублимирования минералов ксенолитов на заключительной стадии метасоматоза. Этому факту ранее не уделялось должного внимания.

Физико-химическая модель, позволяющая детально исследовать особенности метасоматоза ультрабазитов Авачи, формировалась не на пустом месте. Предшественниками накоплен большой опыт в исследовании эндогенных процессов методами термодинамического моделирования. Так для объяснения процессов изменения габброидных пород вулканами Камчатки и Курильских островов использовалась модель их конвективного нагревания и плавления, построенная на основе модели «магматического замещения» Д.С. Коржинского.

В результате была реализована модель метасоматоза ультраосновных пород литосферной мантии под Авачинским вулканом при воздействии на них разнородных глубинных флюидов переменного состава на уровне шпинелевой фации глубинности в широком интервале температур. Следует отметить, что исходно все типы флюидов рассматриваются как резко восстановительные, но на заключительной стадии они частично окисляются.

В результате исследовании расплавных и флюидных включений установлено, что температура гомогенизации расплавных включений в клинопироксене 1040-1170°С. Кристаллизация «метасоматической» шпинели и захват расплавных включений происходил при температуре порядка 1050°С, это позволило обоснованно задавать граничные условия в моделях метасоматоза и последующего плавления. Следовательно, общая постановка задачи и граничные условия метасоматоза в литосферной мантии сделанные соискателем на основе экспериментальных и литературных данных не подлежат сомнению.

В результате моделируется реальный процесс перекристаллизация гарцбургитов под воздействием флюидов, исследуется развитие текстур зон «оливинизации», формирование клинопироксен–амфиболовых обособлений и рост плагиоклаз-амфиболовых оторочек на контакте ксенолита и вмещающего андезибазальта. Даже самый предварительный анализ результатов моделирования показывает, что случаях существования в литосферной мантии магматических очагов, генерирующих флюиды

различного состава на интервале глубин 40 - 60 км, формируются сходные минеральные ассоциации. Тем не менее, есть все основания говорить о существовании двух P-T фаций инфильтрационного метасоматоза под Авачинским вулканом. Поверхностная фация - затухающая со временем пироксенизация ультрабазитов, в пределах которой при T = 1000 - 1200°C и давлении менее 30 кбар существенных минералогических различий в ксенолитах ультрабазитов Авачи не наблюдается. Неглубокое расположение источника флюидов здесь исключает возможность метасоматического преобразования. И глубинная фация (P>30 кбар, T=1200-1300°C) с максимальным изменением первичных гарцбургитов. Изменение давления отражается, прежде всего, на масштабах окремнения и карбонатизации ультрабазитов.

С нашей точки зрения наиболее важным в данном разделе работы является вывод о том, что исследованы кратковременные стадии отделения флюидов от малоглубинного магматического очага, вызванные сейсмическими нарушениями. Именно поэтому процесс заканчивается выносом при извержениях обломков ультрабазитовых пород с неизвестных по глубине участков разреза над магматическим источником. Следовательно, процесс метасоматического преобразования пород под Авачинским вулканом - это только одна из стадий развития данной флюидной системы.

Несмотря на в целом успешное применение метода физико-химического моделирования к столь сложным геолого-геохимическим явлениям, как метасоматического преобразования пород литосферной мантии, к этому разделу есть ряд замечаний. Они не принципиальны, но хотелось бы, чтобы в будущем соискатель их учитывал. Во-первых, в работе (включая защищаемые положения) неоднократно отмечается роль магматических расплавов (стр. 3 – 10, 13, 15, 19, 20, 22, 31, 41, 49, 64, 68, 71, 73, 75, 90), иногда используется термин «расплавные включения». Однако подробного описания модели не приводится, это существенно затрудняет анализ результатов моделирования. Не ясно, включен ли в список вероятных компонентов расплав как отдельная фаза или группа фаз. То же самое касается термина «растворы» и «жидкости». Имеются в виду не твердые растворы, а, например, «водно-хлоридный раствор» (стр. 65, 72 и др.). Ведь их роль в переносе и переотложении вещества определяющая. Тем более, что соискатель признает роль гидротермальных растворов. Это не значит, что мы ставим под сомнение полученные результаты, но, тем не менее, нам, как специалистам в области термодинамического моделирования, было бы существенно легче оценить конечный результат. Вызывает недоумение использование термина «сублимация» в смысле «растворения» (стр. 4). Обычно под этим понимается переход вещества из твёрдого в

газообразное состояние, минуя стадию жидкости. Однако в данном случае право выбора мы оставляем за автором.

В шестой главе рассмотрены результаты физического моделирования составов частичных выплавок из ксенолитов потоком восстановленных газов. К этому разделу замечаний нет. Он выполнен на высокопрофессиональном уровне. Физические модели метасоматических процессов убедительно показали, что им свойственны высокие скорости растворения и выноса петрогенных компонентов потоками магматических газов. Трещины, каверны заполняются отложением из флюидов трудно растворимых веществ, конденсацией и перекристаллизацией минералов. А вот установленные локальные изменения в ксенолитах возможно объяснить только воздействием сейсмогенных тектонических процессов на интенсивность перемещения флюидов.

Есть ряд незначительных замечаний по оформлению работы. На рисунке 5.4. на станицах 81-82 не точность в оформлении подписи к рисунку. Подрисунки а, б и в определены как отдельные графики с различными моделями флюида. На самом деле все три модели флюида присутствуют на всех графиках, а меняется количества магния, кремния и количество равновесного ортопироксена. На некоторых рисунках надписи оси X заползают на график (рис. 5.6). Список литературы не всегда выдержан в алфавитном порядке (работы Перепелова А.Б., Хотина М.Ю., Kimura et al.).

Защищаемые положения в целом удачно сформулированы и надежно обоснованы представленными в диссертационной работе материалами, однако второе положение можно успешно разделить на два самостоятельных, выделяя в отдельное схему процесса инфильтрационного метасоматоза и локального плавления мантийных гарцбургитов.

Сделанные замечания скорее представляют ожидаемое направление дальнейших исследований и не умаляют несомненных достоинств выполненного исследования. В диссертации на авторском материале достаточно полно исследованы особенности геохимии, геологии, минералогии метасоматических изменений гарцбургитовых пород мантийного клина. Корректно учтены данные предыдущих исследователей, построены теоретические модели процессов метасоматоза гарцбургитовых пород. Достоверность полученных результатов обоснована применением современных аналитических методов и подтверждена высокорейтинговыми публикациями и сообщениями на российских и зарубежных совещаниях. Содержание работы изложено грамотным понятным языком. Защищаемые положения хорошо обоснованы.

Рекомендуем использование результатов диссертации в организациях, применяющих различные методы анализа химического и фазового состава веществ, как

успешный образец применения количественных моделей в изучении различных стадий формирования флюидно-магматических систем.

Автореферат и опубликованные работы соответствуют содержанию диссертации и полностью раскрывают поставленную проблему.

Таким образом, рецензируемая работа «Динамика метасоматического преобразования пород литосферной мантии под вулканами Авачинско–Корякской группы (Камчатка)» вносит фундаментальный вклад в геологическую науку, представляя результат высокопрофессионального исследования, а ее автор КУЗНЕЦОВ Григорий Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Заведующий лабораторией геохимии изотопов,
кандидат геол.-мин. наук С.И. Дриль

Старший научный сотрудник лаборатории
геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования,
кандидат геол.-мин. наук В.А. Бычинский

Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании Ученого Совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (протокол № 8 от 22 октября 2018 г.).

Подпись Дриль С.И., Бычинский В.А.
ЗАВЕРЯЮ Дриль г. сл.
Зав. канцелярией
ИГХ СО РАН