

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ильдара Рафитовича Низаметдинова «Петрогенезис посткальдерных вулканитов кальдеры Медвежья на примере вулкана Меньший Брат, о. Итуруп», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – Петрология, вулканология.

Диссертация Ильдара Рафитовича посвящена изучению специфики посткальдерного вулканизма кальдеры Медвежья, которая расположена на острове Итуруп (Южные Курилы). В качестве объекта исследований был выбран вулкан Меньший Брат, который отличается широким спектром изверженных пород от базальтов до риолитов, а также присутствием в породах высокомагнезиального оливина (Fo_{85-90}) не характерного для пород фронтальной части островных дуг.

Результаты работы опубликованы в 6 статьях, из которых 4 статьи опубликованы в международных журналах списка WoS (Q1-Q4) и еще 2 в журналах из списка ВАК. В четырех из шести статей И.Р. Низаметдинов является первым автором. Также было представлено 11 докладов на конференциях различного уровня.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и включает в себя 68 рисунков и 4 таблицы. Приложение занимает 31 страницу и содержит 18 таблиц с аналитическими данными. Список литературы состоит из 233 наименований.

Введение содержит описание целей и задач исследования, а также другие формальные сведения о диссертации.

В первой главе судя по названию должен был приводиться литературный обзор, посвященный посткальдерному вулканизму в современных вулканических поясах. Но раздел 1.1 посвящен механизмам формирования кальдер и кальдерообразующих магм, а раздел 1.2 геологической изученности кальдеры Медвежья. Поэтому из этой главы узнать что-то о посткальдерном вулканизме и его распространенности в мире рецензенту не удалось. В качестве примеров кальдер, имеющих посткальдерную стадию развития, приводятся кальдеры вулканов Горелого, Карымского и Ксудаца на Камчатке, но характеристика посткальдерного вулканизма не приведена. Не приведены также характеристики посткальдерных стадий для хорошо изученных кальдер Йеллоустонской горячей точки, Катмаи, Аира, Кракатау и многих других. При описании научных результатов предыдущих исследователей автор спутал Марию Леонидовну Толстых с Надеждой Дмитриевной Толстых, отнеся две статьи одного и того же автора к двум различным группам исследователей.

Глава 2 посвящена описанию геологического строения кальдеры Медвежья и вулкана Меньший Брат. На стр. 24 замечена явная ошибка в указании объема продуктов кальдерообразующей стадии в 12 и 20-20 кубических метров.

Глава 3 описывает исследованные материалы и методики изучения образцов. Жаль, что для отобранных образцов и изготовленных препаратов приведено только их общее количество, но не дано таблицы с координатами отбора и макроописанием. Следует отметить детальное описание методики работы с расплавленными включениями в различных минералах. Подробно

описаны методы анализа и приведены пороги обнаружения измеряемых элементов для каждого метода.

Глава 4 содержит главные результаты исследования базальтов и андезибазальтов вулкана Меньший Брат. В разделе 4.1 дано очень краткое петрографическое описание пород. Фотографии и описания даны для всех пород (21 образец?) в целом, без указания к какому образцу относится то или иное наблюдение. Это описание кроме краткости содержит ряд внутренних противоречий. На странице 42 вкрапленники плагиоклаза, пироксенов и оливина названы фенокристами, а в дальнейшем обсуждается, что все кроме оливина - ксенокристы. По приведенным фотографиям и описаниям получается с точностью наоборот – зерна оливина резорбированы и имеют хорошо проявленные реакционные каймы на контакте с основной массой. У плагиоклаза и пироксенов никаких следов резорбции или реакционных взаимоотношений не проявлено. Оливин не содержит вростков других породообразующих минералов и вростки оливина отсутствуют в зернах плагиоклаз-клинопироксенового парагенезиса, то есть петрографические наблюдения явно указывают на чужеродную (ксенокристную) природу зерен оливина. В описании симплектитовых кайм, образующихся по оливину содержится ошибка – это срастания магнетита и ортопироксена, которые закономерно возникают за счет реакции оливина с кислым расплавом. Такие каймы широко распространены в островодужных породах (например, Dirksen et al., 2006). На рис. 6 в диссертации видно, что клинопироксен проанализирован вне симплектитовых срастаний, а ортопироксен в симплектитовых сростках почему-то не проанализирован. Зональность оливина описана непонятно – она прямая, обратная или более сложная? Есть ли разница между зернами оливина в различных образцах и различных лавовых потоках? Рецензент не смог разобраться в этом ни по тексту диссертации, ни по таблицам в приложении. На рис. 8 приведено изображение зерна оливина с неоднородной зональностью, но здесь явно не хватает иллюстративного материала. Удивительным феноменом является наличие магнетита и титаномagnetита в одной породе. В этом ряду нет разрыва смесимости и такое одновременное сонахождение магнетита с различным содержанием титана должно отражать различные механизмы образования. Для вулканических пород характерен титаномagnetит. К сожалению, в диссертации петрографическое описание акцессорных минералов описано всего 18-тью словами и из этого описания непонятно, где был найден низкотитанистый магнетит. Возможно, автор анализировал магнетит из ортопироксен-магнетитовых кайм вокруг оливина? Также в литературе описан механизм формирования магнетита за счет окисления сульфидных глобулей. В любом случае, сосуществование магнетита и титаномagnetита (как это декларировано в заголовке к таблице S21 вызывает большие сомнения. Как это в дальнейшем использовалось для оценки температуры и фугитивности кислорода также совершенно непонятно. Описание основной массы породы крайне лаконично (26 слов) и ни одной фотографии. Состав микролитов плагиоклаза, клинопироксена и ортопироксена удалось найти в таблицах приложения, но составы оливина и интерстициального стекла отсутствуют. Предположу по аналогии с другими похожими породами и исходя из реакционных кайм вокруг оливина, что оливин в основной массе отсутствует, а стекло имеет кислый состав. Такие соотношения объясняют наличие реакционных кайм вокруг вкрапленников оливина и доказывают его чужеродную природу.

Па разделом 4.1 сразу следует раздел 4.3, в котором приводятся данные по валовым составам пород. В названии раздела указываются только основные породы, но в тексте

описываются основные и средние породы вулканов кальдеры Медвежья. На стр. 48 отмечается положительная корреляция между титаном и железом, как характерная для толеитовых серий. Я бы отметил, что такая корреляция характерна для других серий тоже. Удивительными являются горизонтальные спектры REE, для объяснения которых хотелось бы видеть более развернутое обсуждение.

Следующий раздел опять имеет номер 4.3 и озаглавлен «Ликвидусная ассоциация базальтов». Для дальнейшего обсуждения важно, что автор приводит в качестве ликвидусной ассоциации сразу два минерала (оливин и шпинель), хотя я бы назвал это котектической кристаллизацией двух минералов. Существенное изменение содержания CaO в оливине от 0.14 до 0.2 и содержания Al₂O₃ от 0.03 до 0.017 автор объясняет совместной кристаллизацией (фракционированием) оливина и шпинели. Сколько же нужно закристаллизовать хромшпинелида, чтобы уменьшить содержание алюминия почти в два раза? Оливин вулканических пород обычно содержит ≥ 0.2 CaO (например, Sobolev et al., 2007), а более низкое содержание CaO требует отдельного объяснения. Например, низкое содержание CaO характерно для ксеногенного мантийного оливина, в котором содержание CaO может увеличиваться за счет переуравновешивания с расплавом. Выводы на стр. 57 об однозначной трактовке корреляции в оливине CaO с его магнезиальностью как доказательство отсутствия фракционирования плагиоклаза однозначными не выглядят. Также, концентрация Al₂O₃ в оливине вряд ли объясняется фракционированием хромшпинелида.

Раздел 4.3.1 посвящен описанию включений в оливине. Приведены наглядные коллажи фотографий и дано подробное описание включений и дочерних фаз. Раздел 4.3.2 посвящен описанию дочерних фаз во включениях. В частности, приведено описание минерала из подгруппы рёнита. Однако, всего на двух страницах описания подгруппа рёнита названа 1) супергруппой рёнита 2) группой рёнита 3) подгруппой рёнита 4) супергруппой сапфирина. Состав минерала сначала объявлен близким к идеальному рёниту (стр. 60), затем рёнитом, отличающимся от идеального (стр. 61), а затем другим минералом – малотитанистым аналогом рёнита (стр. 60). Надо отметить, что похожие ассоциации дочерних фаз (низко-Si клинопироксен, глиноземистый шпинелид, рёнитоподобный минерал) наблюдались во включениях в оливине многих объектов Курило-Камчатской островной дуги (например, в авачитах и алливалитах), но на этом не акцентировалось внимание при публикации статей. В разделе 4.3.3 приводится краткое описание термометрических экспериментов с включениями с визуальным контролем. В этом разделе хотелось бы видеть хотя бы одну термограмму эксперимента. Непонятен термин «размягчение стекла» и как это фиксируется визуально. Обычно, при нагреве стекловатых включений происходит раскристаллизация стекла, а затем постепенное плавление поликристаллического агрегата. В ходе эксперимента не достигалось полной гомогенизации включений (при температуре до 1300 C), что свидетельствует о потере включениями летучих компонентов либо до, либо во время эксперимента.

Раздел 4.3.4 содержит подробное описание состава включений и результаты оценки содержания углекислоты во включениях. Это очень кропотливая и трудоемкая методика, которая показывает высокий профессиональный уровень автора. Рамановская спектроскопия показывает присутствие исключительно CO₂ в усадочных пузырьках включений, тогда как ГХ-МС выявляет 225 различных соединений, среди которых

углекислота занимает только 1.5% (вместе с H₂O). Рецензенту непонятно, почему такое большое количество выявленных углеводородных соединений (75.5 %) не фиксируется в рамановских спектрах (связь C-H соответствует колебаниям в районе 2900 см⁻¹), тогда как малое количество CO₂ на этих спектрах отлично видно.

Раздел 4.3.5 посвящен определению содержания воды в стекле расплавных включений. Содержание воды в экспериментально-закаленных включениях находится на уровне порога обнаружения методом SIMS (0.5 мас.%), то есть включения потеряли воду. Поэтому автор применил расчетный метод оценки концентрации воды по разнице расчетной температуры между ликвидусным геотермометром оливин-расплав и геотермометром оливин-шпинель. Этот подход интересен, но может не отражать содержание воды в расплаве. Расчетная температура равновесия шпинель-оливин соответствует freezing температуре реакции и, как правило, существенно ниже температуры кристаллизации [Портнягин, 1997]. Полученное различие в расчетной температуре и корреляция с магнезиальностью оливина может отражать время нахождения зерен оливина в приповерхностной камере, а не содержание воды в расплаве.

Раздел 4.4 содержит обсуждение состава первичных расплавов. Состав рассчитывался путем обратного фракционирования оливина до заданной магнезиальности оливина 90.4. Эта схема расчета противоречит более раннему утверждению автора о существенной доле кристаллизации хромшпинелида совместно с оливином. В случае котектической кристаллизации оливина и хромшпинелида было бы необходимо добавлять в расплав оба минерала. Рецензент считает утверждение о существенной доле кристаллизации хромшпинелида ошибочным, и, поэтому, оценка состава первичных расплавов произведена правильно. В данном разделе была проведена значительная работа по интерпретации химического состава первичных расплавов и оценены параметры магмогенерации, условия отделения флюида от слэба и состав мантийного источника. Доля пироксенитового компонента в мантийном источнике оказалась незначительной, что и следовало ожидать для вулкана вулканического фронта.

На основе первых разделов главы 4 было сформулировано первое защищаемое положение. Единственное замечание к этой формулировке заключается в том, что совместная кристаллизация двух минералов называется котектической, а не ликвидусной.

Раздел 4.6 описывает минералы-вкрапленники и включения во вкрапленниках плагиоклаза и ортопироксена. На стр. 97 описаны «незакономерные сростки магнетита и Ti-магнетита, встреченные в качестве твердофазных включений в клинопироксене», но не приведено ни одной фотографии, это подтверждающей. Рецензенту такое совместное нахождение химических разновидностей одного и того же минерала представляется крайне необычным и интересным. Однако, сам факт совместного нахождения не подтвержден ни одной фотографией и подробно не обсуждается.

Плагиоклаз и ортопироксен содержат многочисленные расплавные включения кислого состава. В клинопироксене диссертанту не удалось найти расплавных включений. Была проделана большая работа по описанию включений и их комплексному анализу.

Раздел 4.7 содержит оценку условий формирования вкрапленников плагиоклаза и пироксенов. Автор считает, что кальциевый плагиоклаз и ортопироксен не могли кристаллизоваться из кислого расплава (хотя в следующей главе он не сомневается в их

кристаллизации в риолитах и сосуществовании плагиоклаз-пироксеновой ассоциации с кислым расплавом, подтверждённым экспериментами). Создается впечатление, что автора подвело незнание обширной литературы по данному вопросу. Проблема кристаллизации основного плагиоклаза из дацитовых и риолитовых расплавов обсуждалась неоднократно и связывается с большим содержанием воды, которое смещает равновесие плагиоклаз-расплав в сторону анортита [например, Плечов, Геря, 1998]. Для гиперстена вулканических пород характерны расплавные включения исключительно кислого состава. Это означает, что существуют механизмы формирования гиперстена из риолитового расплава вне зависимости от того, знает ли о них автор или нет. Уверен, что состав интерстициального стекла в изучаемых породах также имеет кислый состав и это отражает равновесие с микролитами плагиоклаза и пироксена основной массы, а также внешними зонами вкрапленников этих минералов. Автор предполагает ксеногенную природу вкрапленников плагиоклаза и пироксена, называя их ксенокристами. Следуя этой логике, следовало бы назвать ксенокристами и все микролиты? Рецензент категорически не согласен с утверждением диссертанта о ксеногенной природе 90% вкрапленников (стр. 109). Наоборот, в этой породе ксенокристами являются вкрапленники оливина, имеющие реакционные взаимоотношения с расплавом. Они содержат расплавные включения базальтового и пикробазальтового состава и кристаллизовались из другой магмы, нежели остальные вкрапленники в данной породе.

Тем не менее, второе защищаемое положение за исключением ксеногенной природы вкрапленников сформулировано корректно и описывает условия кристаллизации плагиоклаз-клинопироксен-ортопироксенового парагенезиса из кислого расплава.

Глава 5 посвящена изучению риолитов и андезитов вулкана Меньший Брат. Крайне лаконичное петрографическое описание содержит те же недостатки, что в главе 4. В разделах 5.3.1-5.3.3 детально описаны результаты изучения расплавных включений в кварце, плагиоклазе и пироксенах. Автор отмечает, что включения в кварце были перегреты, а позже удивляется тому, что экспериментально закаленные стекла содержат избыточный кремнезем. Существенное содержание воды в стеклах измерено методами КР спектроскопии. В разделе 5.4.3 приводится крайне интересное сравнение содержания редких элементов в клинопироксене различных пород вулкана Меньший Брат, показывающее закономерную эволюцию состава. Интерпретация парагенезиса вкрапленников как рестита при плавлении метабазита вызывает большие сомнения. Если принять модель автора, то будет очень трудно объяснить как ритмичную зональность вкрапленников (например, плагиоклаза), так и большое количество расплавных включений, располагающихся по зонам роста. Рецензент не согласен с наличием двух парагенезисов в данной породе (вывод 2 на стр. 136). Различия в составе расплавных включений могут быть обусловлены недостатками методики работы с ними. При этом, защищаемое положение сформулировано корректно и не вызывает сомнений.

Раздел 6.1 Заключение содержит обсуждение данных ГХ-МС в применении к вулканическим породам. Главный вопрос, который возникает при чтении этого раздела связан с тем, что подавляющее большинство компонентов, выявленное газовой хроматографией, никак не фиксируется в усадочных пузырьках расплавных включений и во флюидных включениях. Где же тогда находятся все описанные углеводороды? Раздел

6.2 Заключение суммирует представления автора о роли базитовых расплавов в кальдерообразующих извержениях и их связи с посткальдерным вулканизмом.

В тексте диссертации встречены многочисленные опечатки и грамматические неточности: исследуемый вулкан называется то Меньший, то Меньшой, фугитивность кислорода – буффер, температура употребляется во множественном числе, жаргонизм – «сгомогенизированные».

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Большое количество замечаний и комментариев связано с интересом к изучаемому объекту и большому количеству данных, полученных различными методами. Диссертация соответствует критериям и отвечает требованиям, установленным правилами к работам подобного рода. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации, а содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология», а также полностью соответствует критериям для кандидатских диссертаций. Таким образом, соискатель Ильдар Рафитович Низаметдинов заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология».

Павел Юрьевич Плечов

Доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана Российской академии наук».

Адрес: 119071, г. Москва, Ленинский пр., д. 18, корп. 2.

Сайт: <http://www.fmm.ru/>

Тел.: +7 (495) 952-00-67; факс +7 (495) 952-48-50

E-mail: mineral@fmm.ru

Я, Плечов Павел Юрьевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

20 сентября 2022 г.

Подпись П.Ю. Плечова
уверенно,
М.К. Ключикова,
ведущий специалист
сектора АЭГ,
Минмузей РАН.
20 IX 2022 г.

