

## ОТЗЫВ

официального оппонента

Хисиной Натальи Рафаиловны

на диссертацию Булах Марии Олеговны

«АПОБАЗАЛЬТОВЫЕ ГАЗОВЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ И СОПРЯЖЕННАЯ С НИМИ ЭКСГАЛЯЦИОННАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ФУМАРОЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ТИПА (НА ПРИМЕРЕ ВУЛКАНА ТОЛБАЧИК, КАМЧАТКА)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация М.О. Булах посвящена комплексному изучению минерализации в фумаролах Толбачика. Диссертация состоит из 7 глав, введения и заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 382 страницы, что выше среднего объема кандидатских диссертаций. Результаты исследования наглядно демонстрируют специфические особенности условий образования минералов в вулканических фумаролах, которые принципиально отличаются от условий кристаллизации в магматических и гидротермальных процессах. Минералообразование эксгалтов происходит в процессах конденсации из газовой фазы в условиях высокой концентрации летучих и относительно невысоких температур. Этим объясняется большое разнообразие в фумаролах минералов и минеральных видов, неизвестных для магматической или гидротермальной минерализации, а также для продуктов земного выветривания.

Исследования проводились методами оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии, электронно-зондового микроанализа, спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС, или рамановской), монокристалльной и

порошковой рентгенографии. Диссертантом впервые систематически изучены продукты алобазальтового газового метасоматоза в вулканических фумаролах окислительного типа. Впервые в фумарольных системах Толбачика установлены и изучены куспидин, оксифлогонит, фтортетраферрифлогопит, минералы группы гумита и "магнезиальный лайхунит". Охарактеризованы бораты флюоборит, людвицит и юаньфулит фумарольного типа. Систематически исследованы сульфаты группы лангбейнита и вантгоффит фумарольного генезиса.

Диссертационная работа М. О. Булах вносит существенный вклад в генетическую минералогию фумарольных систем восстановительного и окислительного типов. К основным достижениям М. Булах следует отнести следующие результаты.

1. Огромный объем проведенных исследований. Диссертант лично участвовала в полевых работах в сборе образцов, провела пробоподготовку и комплексные исследования 315 образцов из фумарол вулкана Толбачик. Диссертация содержит фундаментальные фактические данные, которые могут быть использованы в дальнейшем при изучении минералогии вулканогенных процессов.
2. Впервые в минералогических исследованиях получены КР-спектры Са-лангбейнита и изучены характеристики КР спектров в зависимости от состава в ряду составов Mg-Са лангбейнитов. Впервые получены рентгенографические данные, подтверждающие существование твердых растворов в ряду  $K_2Mg_2(SO_4)_3$  -  $K_2Ca_2(SO_4)_3$  (кубическая сингония).
3. Впервые обнаружены микроструктуры двухфазных образований, не имеющие аналогов в магматических породах и в продуктах их выветривания. Такие микроструктуры представлены сосуществующими фазами лангбейнита и Са-лангбейнита в сульфатных образованиях из фумарол Ядовитая и Арсенатная (Глава 3), а также продуктами окисления оливина (Глава 5).

4. Выявлено разнообразие форм выделения лангбейнита и кальциолангбейнита в fumarолах, которое свидетельствует о роли химического (катионного) состава минералообразующей среды в процессах конденсации.

Отдельного обсуждения заслуживают наблюдаемые в fumarолах микроструктуры двухфазных образований, неизвестные для магматической или гидротермальной минерализации, а также для продуктов земного выветривания. Результаты этих исследований изложены в Главах 3 и 5.

Глава 3 посвящена изучению сульфатных образований, представленных лангбейнитом и Са-лангбейнитом. В шлифах наблюдаются как области чистого лангбейнита и чистого Са-лангбейнита (Рис. 3.16а), так и области дисперсной смеси этих фаз (Рис. 3.16 б-г). В дисперсной смеси вкрапления лангбейнита размером около 1 мкм образуют систему пятнистых или червеобразных выделений неправильной формы без взаимной кристаллографической ориентации относительно кальциолангбейнитовой матрицы (Рис. 3.16). М.О. Будах интерпретирует эти двухфазные образования как структуры распада твердого раствора ряда лангбейнит – Са-лангбейнит. С этой трактовкой трудно согласиться, поскольку обе фазы - лангбейнит и Са-лангбейнит - имеют кубическую симметрию, и в этом случае структуры распада должны представлять трехмерную систему кристаллографически ориентированных срастаний с плоскими границами раздела фаз, которые ориентированы параллельно плоскостям (001) или (111) кубической структуры. Альтернативной трактовкой образования двухфазной смеси лангбейнита и Са-лангбейнита можно предложить двухстадийный процесс кристаллизации с образованием Са-лангбейнита на начальном этапе с последующим заполнением лангбейнитом порового пространства в мелкокристаллических агрегатах Са-лангбейнита по мере исчерпания кальция в системе. Такая трактовка не противоречит данным, представленным в диссертации. Как видно на Рис. 3.4 и Рис. 3.6, Са-лангбейнит образует гроздевидные скопления и щетки с кавернозной поверхностью зерен; такие агрегаты содержат

некоторый объем порового пространства. В мелко-кристаллических агрегатах Са-лангбейнита встречаются вкрапления кристаллов лангбейнита (Рис.3.4 ).

В Главе 5 приведено описание микроструктур, образованных в результате окисления оливина. На Рис. 5.2.а можно видеть, что микроструктура образована прерывистыми линзовидными выделениями толщиной порядка 1 мкм и меньше, которые имеют преимущественную ориентировку в матрице оливина. Исследование микроструктур проведено методами EDS/SEM и КР-спектроскопии. На основе данных химического состава (Таблица 7) диссертант предполагает, что эти выделения представляют собой продукт окисления магнезиального оливина- «магнезиальный лайхунит»  $Mg_{0.5}(Fe^{3+})_{1.0}SiO_4$ . Следует отметить, что морфология выделений не согласуется с известными данными по лайхуниту: границы раздела лайхунита и оливина обязательно плоские и протяженные, а не линзовидные. В то же время, приведенные в Таблице 7 химические составы «магнезиального лайхунита» прекрасно воспроизводятся в разных точках с соотношением  $Mg:Fe^{3+}: Si = 0.5:1.0:1.0$ , что не исключает существования в качестве продуктов окисления двухфазной смеси магнезиоферрита и кремнезема (кристобалита). Такая интерпретация не противоречит КР-спектрам, полученным диссертантом. «Магнезиальный лайхунит», а также и двухфазная смесь магнезиоферрита и кристобалита наблюдались ранее в экспериментах по окислению высокомагнезиального оливина при 700 °С на воздухе (Khisina et al., 1995). «Магнезиальный лайхунит» образуется при низкотемпературном окислении оливина в условиях температур и  $fO_2$ , соответствующих полю стабильности магнетита. Полезно рассмотреть, в каком диапазоне температур и  $fO_2$  могло бы гипотетически происходить окисление оливина в фумаролах с образованием магнезиоферрита и кремнезема.

Небольшие замечания редакционного характера.

- (1) Для более ясной презентации результатов необходимо было бы представить сводную таблицу данных химического состава, положения полосы  $\nu_1$  в КР-спектрах и параметров элементарных ячеек для лангбейнита и кальциолангбейнита с привязкой к тем образцам, исследование которых проведено в полном объеме.
- (2) Следовало включить в Таблицу 3.5 данные по параметрам э.я. ромбического Са-лангбейнита из работы (Пеков и др., 2012).
- (3) На Рис.3.9 и в подписи к Рис. 3.9 ошибка в нумерации (г) и (д).
- (4) На Рис. 3-15 и в подписи к Рис. 3-15 не указано, какие из спектров относятся к кубической модификации Са-лангбейнита, а какие - к ромбической.
- (5) Следовало более подробно изложить в Главе 5 механизмы окисления оливина, которые в зависимости от условий сопровождаются или образованием катион-дефицитной фазы лайхунита  $(\text{Fe}^{2+})_{0.5}(\text{Fe}^{3+})_{1.0}\text{SiO}_4$ , или разложением оливина на магнезиоферрит  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  и  $\text{SiO}_2$ .
- (6) Следовало дать привязку анализов «магнезиального лайхунита» (Таблица 7) к изображениям, поскольку при проведении анализа столь тонких выделений методом EDS/SEM неизбежен захват матрицы (оливина).

Указанные замечания не умаляют значимости результатов диссертационного исследования, выполненного М.О. Булах. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенными пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертация оформлена согласно

приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Соискатель Булах Мария Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент:

Доктор геолого-минералогических наук,  
Ведущий научный сотрудник

ХИСИНА Наталия Рафаиловна



/Н.Р. Хисина/

13 февраля 2023 г.

Контактные данные:

тел.: 7(916)1133542, e-mail: [\\_khisina@gmail.com](mailto:_khisina@gmail.com)

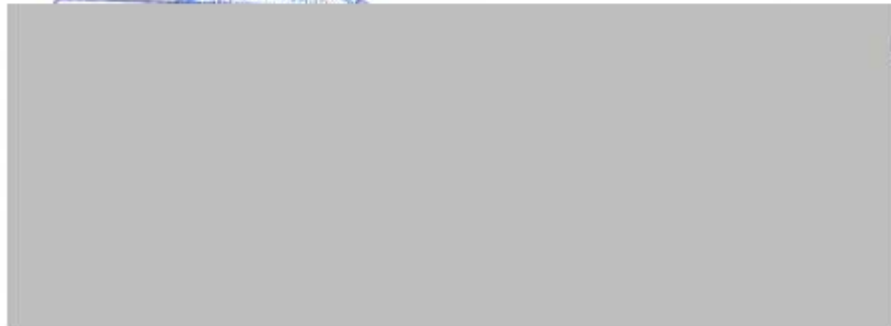
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защита диссертация:

04.00.02 - Геохимия

Адрес места работы:

119991 г. Москва, ул. Косыгина, д. 19,

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук



01/11