

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата геолого-минералогических наук Сандалова Федора**  
**Дмитриевича на тему: «Оксидная минерализация в фумаролах**  
**окислительного типа (вулкан Толбачик, Камчатка)» по специальности**  
**1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические**  
**методы поисков полезных ископаемых»**

Фумаролы окислительного типа, приуроченные к вулканическому массиву Толбачик на Камчатке характеризуются удивительным минералогическим разнообразием. В фумаролах второго конуса БТТИ установлено более 350 минеральных видов, среди которых почти 150 – минералы, открытые здесь; большинство из них – эндемики данной формации. Здесь же обнаружена самая богатая и разнообразная по сравнению со всеми другими вулканами мира оксидная минерализация. Однако, поскольку она представлена преимущественно традиционными минералами, ее детальное изучение ранее не проводилось. Вместе с тем, химический состав оксидных минералов весьма своеобразен. Поэтому детальное исследование оксидной минерализации для такого эталонного объекта, как окислительные фумаролы БТТИ представляется актуальным.

В работе впервые комплексно и систематически охарактеризована оксидная минерализация окислительных фумарол: получены и обобщены минералогические данные о 23 оксидах. Показано, что они в основном представлены распространенными в других геологических формациях групп минералов (группы гематита, рутила, шпинели, псевдобрукита), однако обладают необычным химическим составом. Главная особенность их состава - изоморфное вхождение халькофильных элементов (Cu, Sb, Sn, Te). Такое поведение халькофильных элементов определяется уникальной спецификой объекта исследований.

Впервые в природе установлены и детально охарактеризованы богатые медью (до 29 мас. % CuO) оксидные шпинелиды. С участием автора открыт новый минерал термаэрогенит и впервые зафиксирована купрошпинель природного происхождения: ранее ее находки были достоверно известны только в техногенных объектах.

Впервые детально изучены высокотемпературные минералы кремнезёма в толбачинских фумарольных системах. Показано, что они представлены тетрагональным кристобалитом, моноклинным и ромбическим (первая находка для фумарол камчатских вулканов) тридимитом. Для тридимита и кристобалита предположены разные механизмы образования: для первого – газовой-метасоматическим путем без существенного переноса кремния, для второго – в результате осаждения из газа.

Диссертация состоит из введения и шести глав. Текст диссертации размещён на 230 страницах, включает 65 рисунков, 30 таблиц и список литературы, состоящий из 262 источников. Дополнительные материалы представлены в трёх приложениях.

В главе 1. Изучаемые объекты: краткий литературный обзор дана краткая характеристика вулканического массива Толбачик и его фумарольных полей, с которыми связана богатая оксидная минерализация. Достаточно полно охарактеризована современная минералогия окислительных фумарол.

В главе 2. Материал и методы исследования представлены краткие сведения об исследованных образцах и использованных методах их изучения. Из этой главы следует, что в работе были применены самые современные методы исследования вещества, комплекс которых адекватен поставленным задачам. Применение этих методов обосновывает достоверность полученных результатов.

Глава 3. Оксидная минерализация в фумарольных системах Толбачика содержит литературные данные об оксидных минералах, ранее установленных в фумарольных системах Толбачика. Приведен список всех

известных здесь оксидов (29 минеральных видов) с оценкой вклада автора в их изучение. Показано, что вклад автора является определяющим в изучении состава оксидных минералов. Для большинства впервые установлен химический состав. Эта глава содержит основной фактический материал, полученный в работе, обосновывающий первые три защищаемых положения.

Глава 4. Общие особенности химического состава и типохимизм фумарольных оксидов приводятся обобщение данных по распределению отдельных химических элементов, входящих в состав фумарольных оксидов Толбачика в качестве видообразующих и существенных примесных компонентов. Показано, что для ряда элементов оксидная форма является важной или даже ведущей формой концентрации в отложениях фумарол окислительного типа, рассмотрены типоморфные для толбачинских оксидов элементы. Содержание главы обосновывает четвертое защищаемое положение.

Глава 5. Об условиях образования оксидных минералов в фумарольных отложениях Толбачика содержит оценки температуры образования оксидных минералов. Материалы данной главы представляют собой обсуждение, выводы не вошли в защищаемые положения.

Глава 6. Основные результаты и выводы содержит основные теоретические положения, полученные в ходе исследования 23 минералов класса оксидов в отложениях как активных, так и потухших фумарол Толбачика.

Все защищаемые положения полностью подтверждаются полученными данными, обоснованы и не вызывают замечаний. Результаты работы опубликованы в 8 статьях в изданиях, рекомендованных АК МГУ с высоким личным вкладом автора. Апробация работы проводилась на российских и международных совещаниях.

Вместе с тем, работа вызвала ряд замечаний:

1. Географического названия вулкан Толбачик не существует. Можно говорить о вулканическом массиве Толбачик, который включает

стратовулканы Плоский Толбачик, Острый Толбачик и многочисленные (более 100) моногенные конуса Толбачинского дола. Последнее время, благодаря работам И.В.Пекова название "вулкан Толбачик" стало обозначением для второго конуса Большого толбачинского трещинного извержения (БТТИ) 1976 года. Следует отметить, что в работе присутствует и правильное обозначение объекта исследований.

2. В работе отсутствуют какие-либо данные о составе фумарольных газов, как на момент формирования Большого толбачинского трещинного извержения (БТТИ) 1976 года, так и современных. Вместе с тем, эта информация критически необходима для интерпретации генезиса современной оксидной минерализации. На первой стадии формирования фумарол газ был восстановительным, что определило вынос компонентов и отложение минералов, типичное для фумарол активных вулканов. Геохимия газов на этом этапе детально изучена, определен масштаб выноса рудных компонентов и галогенов. Фундаментальный труд 1984 года цитируется в диссертации, но эти данные не используются. В современном состоянии, при снижении вулканической активности БТТИ, главный газ фумарол - это разогретый воздух. При этом перенос металлов, в количестве, сопоставимом с первой фазой, не наблюдается.

3. В главе 6 приводятся многочисленные экспериментальные данные по синтезу фаз и их устойчивости. Эти данные не могут обосновать оценки температуры образования оксидных минералов, поскольку условия сильно различаются. Как можно использовать данные по синтезу минерала в атмосфере хлора для фумарол 2 конуса БТТИ? Химические реакции, приведенные в главе 6 в основном взяты из литературы. Как правило, они записаны применительно к совершенно другим составам газа и вряд ли могут обосновать температуры образования.

Вместе с тем указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. 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, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно приложениям № 8, 9 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Сандалов Федор Дмитриевич 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, профессор РАН, заведующий кафедрой геохимии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова  
БЫЧКОВ Андрей Юрьевич

11 декабря 2023 года

Контактные данные: тел.: 7(495)9391239, e-mail: andrewbychkov@rambler.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Адрес места работы: 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1  
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
геологический факультет. Тел.: 7 (495) 939-4962; e-mail: dean@geol.msu.ru

Подпись сотрудника А.Ю. Бычкова  
МГУ имени М.В.Ломоносова удостоен  
Зав.канцелярией

М.Г. Вебер  
1.12.2023 г.