

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Кириченко Ивана Сергеевича на тему «МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРМАЛЬНЫХ ОЗЕР КАЛЬДЕРЫ ВУЛКАНА УЗОН» по специальности 1.6.4- «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, представленную диссертационному совету 24.1.050.02.

Диссертационная работа посвящена выявлению минералого-геохимических и изотопно-геохимических особенностей и главных факторов, определяющих химический и минеральный состав донных отложений термальных озер кальдеры Узон, на основе детального, комплексного исследования кернов донных отложений. Современные геотермальные системы традиционно рассматриваются в качестве аналогов рудообразующих процессов. Гидротермы кальдеры Узон (Камчатский полуостров) привлекают особенно большой интерес, поскольку здесь происходит отложение ртутно-сурьмяно-мышьяковой минерализации. Среди многочисленных исследований, проводимых в кальдере Узон, отсутствуют работы по детальному исследованию седиментации в термальных озерах.

**Актуальность выбранной темы** определяется необходимостью изучения эволюции геотермальной системы и связи изменения режима с вулканическими и тектоническими событиями на полуострове Камчатка. Предложенный в диссертации подход дает возможность получить историю осадконакопления в термальных озерах за последние 2000 лет. Эти данные актуальны в связи с изучением вулканической активности и потоков компонентов, необходимых для расчета баланса, в том числе, парниковых газов.

**Научная новизна исследований и полученных результатов** определяется тем, что в работе впервые для термальных озер (озеро Фумарольное, озеро Хлоридное, котел Сизый) кальдеры вулкана Узон проведен комплекс работ, включающий: послойное определение

химического состава донных отложений озер с разрешением 1 мм, гамма-спектрометрические измерения, минералогические и изотопные исследования. На основе послойного сканирования осадков термальных озер выявлены геохимические индикаторы изменения гидротермальной активности и проведено сопоставление выявленных вариаций с изменением вулканической активности за последние 2000 лет на территории Камчатки. Впервые установлены вариации содержания ряда элементов в донных отложениях термальных озер.

**Практическая значимость работы.** Результаты исследования значимы для реконструкции режима гидротермальной активности в данном регионе, показывающий флуктуации потоков компонентов и их связи с вулканическими и сейсмическими событиями и внешними факторами. Выявленные особенности могут быть применены для реставрации условий формирования гидротермальных отложений в присутствии микроорганизмов, в том числе в истории Земли. Полученные закономерности могут быть использованы: в качестве верификационных данных для расчетов термодинамических моделей рудообразования;

Диссертационная работа объемом 197 страниц, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 105 рисунков и 25 таблиц. Список литературы содержит 215 источников, из которых 104 на иностранных языках.

**Во введении** обосновывается актуальность темы, определены цель и задачи исследования, сформулированы защищаемые положения и практическая значимость полученных результатов, показан личный вклад автора.

**Первая глава** состоит из литературного обзора по теме исследования. В этой главе поставлена главная идея исследования: изучение природы циклических изменений вулканической активности затруднительно вследствие малого количества вулканов на планете. Поэтому представляется актуальным исследовать влияние внешних факторов (солнечная активность и изменения гравитационных сил, воздействующих на Землю) на вулканические и тектонические процессы, используя данные

об периодических изменениях гидротермальной активности, запечатленных в донных отложениях озер вулканически активных зон планеты.

**Вторая глава** включает сведения об объекте исследования: физико-географическое положение объекта, геологические характеристики. Приведены реферативные данные о химическом составе растворов изучаемых термальных озер, а также о минеральном составе донных отложений. Этот обзор весьма полно отображает современную литературу.

**Третья глава** посвящена сведениям об использованных в работе полевых и лабораторных методов исследования. Все методы описаны весьма полно, замечаний к главе не выявлено.

**В четвертой главе** описаны методологические разработки вейвлет анализа, обоснован выбор вейвлета, описаны граничные условия и проведена верификация разработанного алгоритма вейвлет анализа. Разработка вейвлет анализа временных рядов является важной разработкой автора диссертации. Метод описан достаточно полно, на его основе создан алгоритм, надежно верифицирован.

**В пятой главе** представлены основные результаты, полученные в работе: химический состав растворов, распределение химических элементов. Эта глава содержит основные данные, полученные автором и составляющие основу защищаемых положений. По составам воды оз. Фумарольное (IV озерко), оз. Хлоридное и котла Сизый в кальдере Узон (Камчатка) установлены три источника растворов: глубинного геотермального флюида (Li, Na, K, Rb, Cs, Cl, Br, I, B, Ge, As, Se, Mo, Sb, W), кислых растворов (Al, Ti, V, Be, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, REE), сформировавшихся в зоне окисления, и поверхностных ультрапресных холодных вод. Для выявления источников применены статистические методы анализа (метод главных компонент и кластерный анализ).

Эти материалы полностью подтверждают **первое защищаемое положение.**

Минералогические и литологические исследования осадков выполнены весьма тщательно, подтверждают ранее полученные данные и несут новую информацию.

По данным гамма-спектрометрических измерений содержания  $^{210}\text{Pb}$ , установлены временные интервалы накопления донных отложений. Разрез донных отложений IV озера оз. Фумарольное, имеют временной интервал с 260 по 2012 гг., а донные отложения котла Сизый (0-41 см) сформировались за период 570 лет. Эти данные полностью обосновывают **второе защищаемое положение.**

Вариации содержаний щелочных элементов в колонке осадков озера Фумарольное изучены с помощью спектральных методов Вейвлет и Фурье анализа. Установлено наличие периодических частот в группе элементов K-Rb-Cs озера Фумарольное. Циклы имеют периоды от 10 до 410 лет, самыми значимыми из которых являются циклы 50 и 410 лет. Периодические осцилляции (порядка 50 лет) отвечают временному отрезку 810-260 лет н.э., соответствующему этапу «мощного эндогенного регионального катастрофизма», фиксируемого тефрохронологическими методами и изучением палеоцунами. Данная часть главы полностью обосновывает **третье защищаемое положение.**

Таким образом, **выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации представляются обоснованными.**

**Достоверность и новизна исследования,** полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется применением комплекса современных аналитических и статистических методов, включающих методы атомно-эмиссионной спектromетрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС), капиллярного электрофореза, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), атомно-абсорбционной спектromетрии. Для определения концентраций химических элементов вдоль профиля керна донных отложений термальных озер был применен метод неразрушающего сканирования РФА с использованием синхротронного излучения (РФА СИ)., определение радиоактивного  $^{210}\text{Pb}$  - методом гамма-спектрометрии,

стабильные изотопы серы, углерода - масс-спектрометрическим методом. Такой комплекс методов представляется оптимальным для решения задач поставленных в работе. Все основные результаты диссертации опубликованы в 8 статьях в ведущих научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus и рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

В целом, текст диссертации обладает внутренним единством и свидетельствует о большом личном вкладе автора в науку. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Большой объем исследований позволил получить новые и оригинальные данные.

К работе имеется **ряд замечаний**:

1. При интерпретации групп элементов, выделенных в термальных растворах кальдеры Узон с помощью кластерного анализа допущены некоторые некорректные выводы. Так, очевидно, группа редкоземельных элементов во всех процессах будет образовывать собственный кластер. Также странно смотрится ассоциация литофильных элементов-гидролизатов и халькофильных элементов.

2. Вызывает вопрос выбора озера Хлоридного для отбора донных отложений, поскольку известно, что его высокая гидротермальная активность вызывает периодические фреатические извержения, описанные Г.А.Карповым. Соответственно, отобранная колонка оказалась перемешанной.

3. На стр. 94-95 обсуждается наличие европиевой аномалии в растворах, однако не приводится каких-либо количественных критериев этой аномалии. Как можно заметить, эта аномалия проявлена только в растворах с низким содержанием РЗЭ. Следовательно, она не может быть следствием растворения плагиоклаза вмещающих пород.

4. На стр. 136 сделан вывод, что близкие изотопные составы сульфатной и сульфидной серы свидетельствует о неравновесности изотопной системы. Сульфатная и сульфидная сера принципиально неравновесные при низкой температуре, даже если их изотопный состав различается.

Эти замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертация Кириченко Ивана Сергеевича на тему «Минералогическо-геохимические особенности отложений термальных озер кальдеры вулкана Узон» является завершенной научно-квалификационной работой на актуальную тему, содержит новые научные результаты, имеющие практическую ценность, и содержит решение ряда актуальных и важных задач геохимии и геохимических методов поисков полезных ископаемых. Форма и содержание диссертации соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК России в редакции Постановления правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Кириченко Иван Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности по специальности 1.6.4-«Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Бычков Андрей Юрьевич,



доктор геолого-минералогических наук, доцент по кафедре,  
профессор РАН, заведующий кафедрой геохимии  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»  
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1  
E-mail: [andrewbychkov@rambler.ru](mailto:andrewbychkov@rambler.ru)  
Телефон: +74959391239

Я, Бычков Андрей Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

22 апреля 2024 г.



Бычков А.Ю.

Подпись Бычкова А.Ю. удостоверяю:

Декан геологического факультета,  
член-корреспондент РАН



И.И.Еремин